



TUGAS AKHIR - TE 184801

Deteksi dan Klasifikasi Gangguan Kualitas Daya Berdasarkan S-Transform dan Artificial Neural Network

Rama Kurniawan Firdaus
NRP 07111340000128

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - TE 184801

Detection and Classification of Power Quality Disturbance Based on S-Transform and Artificial Neural Network

Rama Kurniawan Firdaus
NRP 07111340000128

Supervisors
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **"Deteksi dan Klasifikasi Gangguan Kualitas Daya Berbasis S-Transform dan Artificial Neural Network"** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2019



Rama Kurniawan Firdaus
07111340000128

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DETEKSI DAN KLASIFIKASI GANGGUAN KUALITAS DAYA
BERBASIS S-TRANSFORM DAN ARTIFICIAL NEURAL
NETWORK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing



Dr. Eng. Ardyono Privadi, ST, M.Eng.
NIP 19730927 199803 1004



Halaman ini sengaja dikosongkan

DETEKSI DAN KLASIFIKASI GANGGUAN KUALITAS DAYA BERBASIS S-TRANSFORM DAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Nama mahasiswa : Rama Kurniawan Firdaus
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng.

Abstrak:

Kualitas daya listrik menjadi hal yang perlu diperhatikan seiring dengan perkembangan teknologi dimana peralatan listrik modern yang memiliki kepekaan tinggi terhadap gangguan kualitas daya listrik. Gangguan kualitas daya listrik dapat berdampak pada ketidaksempurnaan operasi peralatan listrik, menyebabkan kerusakan peralatan listrik yang berujung pada kerugian ekonomi. Penurunan kualitas daya listrik disebabkan oleh gangguan yang berupa voltage sag, voltage swell, gangguan sesaat, harmonisa, flicker yang akan menyebabkan kegagalan operasi, ketidakstabilan sistem, memperpendek umur peralatan, dan lain sebagainya.

Pada penelitian ini menggunakan S-transform untuk mengekstraksi informasi atau fitur dari sinyal gangguan kualitas daya. Beberapa jenis gangguan kualitas daya memiliki sinyal dengan karakteristik non-stasioner. S-Transform memiliki kemampuan untuk mengekstrak fitur yang terkandung dalam sinyal arus dan tegangan yang terdampak gangguan kualitas daya dengan karakteristik non-stasioner dengan proses komputasi yang ringkas serta penggunaan memori yang rendah bila dibandingkan dengan metode lain. Hasil ekstraksi fitur dengan S-Transform selanjutnya akan digunakan untuk input Artificial Neural Netwok (ANN). Dalam penelitian ini ANN memegang peranan dalam pengklasifikasian gangguan kualitas daya.

Kata kunci: Gangguan kualitas daya, S-transform, Artificial Neural Network (ANN)

Halaman ini sengaja dikosongkan

DETECTION AND CLASSIFICATION OF POWER QUALITY DISTURBANCE BASED ON S-TRANSFORM AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Student Name : Rama Kurniawan Firdaus
Supervisor : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng.

Abstract:

Power quality has become an important issue for electric utilities and its customers. In this modern era, many electric devices is very sensitive to power quality disturbance when in operation. The disturbance may affect the operation of electric utilities and its customers that lead to breakdown and economical issue. Power quality degradation caused by sag, swell, harmonics, flicker, notching and spike will reduce lifetime of the electric devices.

In this research using S-transform to extract the features that contained in the power quality disturbance signal. A few of power quality disturbance event have non-stationary signal characteristic. S-transform has ability to extracting the features from the signal that affected by the disturbance with the low computational and low memory usage compared with other signal extracting method. The extracting result from the S-transform will be used as input of the Artificial Neural Network (ANN). The ANN has a role in this research to recognize the power quality disturbance event from the signal

Key Word: Power quality disturbance, S-transform, Artificial Neural Network

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan tepat waktu. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang berjudul “Deteksi dan Klasifikasi Gangguan Kualitas Daya Berbasis S-Transform dan Artificial Neural Network”

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Kedua orang tua beserta saudara-saudara yang telah mendukung dan mendampingi penulis dalam keadaan apapun.
3. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan memberikan saran selama penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir Anang Tjahjono, M.T dan Bapak Dimas Okky, S.T, M.T yang telah membantu saya dalam pelaksanaan penelitian.
5. Teman-teman e-53, e-54, e-55 yang telah memberikan dukungan baik dalam sisa perkuliahan.
6. Fitri Widiasti yang selalu memberi dukungan.
7. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, Desember 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.4 Batasan Tugas Akhir.....	3
1.5 Metodologi Tugas Akhir.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi.....	5
BAB 2 KUALITAS DAYA LISTRIK, TRANSFORMASI-S, DAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN).....	6
2.1 Kualitas Daya Listrik.....	6
2.1.1 Voltage Sag.....	6
2.1.2 Voltage Swell.....	7
2.1.3 Harmonisa.....	8
2.1.4 Notching.....	9
2.1.5 Flicker.....	10
2.2 S-Transform.....	11
2.3 Artificial Neural Network (ANN).....	13
BAB 3 PROSES PENGAMBILAN DATA DAN METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Pemodelan Sinyal.....	18
3.2 Pengolahan Sinyal.....	19
3.2.1 S-Transform.....	19
3.2.2 Artificial Neural Network (ANN).....	20
BAB IV SIMULASI DAN ANALISA DATA.....	23
4.1 Pemodelan Sinyal Gangguan Kualitas Daya.....	23
4.1.1 Durasi 0.1 Detik.....	23
4.1.2 Durasi 0.16 Detik.....	29

4.1.3 Durasi 0.2 Detik.....	36
4.2 Hasil S-Transform.....	43
4.2.1 Durasi 0.1 Detik.....	43
4.2.2 Durasi 0.16 Detik.....	50
4.2.3 Durasi 0.2 Detik.....	57
4.3 Hasil Pelatihan Artificial Neural Network (ANN).....	64
4.3.1 Durasi Sinyal 0.1 Detik.....	65
4.3.2 Durasi Sinyal 0.16 Detik.....	71
4.3.1 Durasi Sinyal 0.2 Detik.....	77
4.4 Hasil Pengujian ANN dengan menggunakan Back Propagation Neural Network (BPNN).....	84
4.4.1 Hasil Testing dengan Variasi Durasi Sinyal	85
4.4.2 Hasil Testing dengan Variasi Epochs	87
4.4.3 Hasil Testing dengan Variasi Jumlah Neuron	91
BAB V KESIMPULAN DAN ANALISA.....	101
5.1 Kesimpulan.....	101
5.2 Saran.....	101
DAFTAR PUSTAKA.....	103
BIODATA PENULIS.....	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk gelombang tegangan saat terjadi sag.....	6
Gambar 2.2	Bentuk gelombang tegangan saat terjadi swell.....	7
Gambar 2.3	Bentuk gelombang arus (atas) dan spektrum harmonisa (bawah) dari input arus pada ASD-Adjustable Speed Drive.....	8
Gambar 2.4	Contoh dari bentuk gelombang terdampak.....	9
Gambar 2.5	Fluktuasi tegangan yang diakibatkan oleh arc furnace.....	10
Gambar 2.7	Neuron pada sistem saraf manusia.....	11
Gambar 2.8	Diagram neuron.....	12
Gambar 3.1	Diagram alur kerja pada penelitian ini.....	17
Gambar 3.2	Arsitektur ANN dengan konfigurasi neuron [551]	20
Gambar 4.1	Sinyal dengan gangguan kualitas daya harmonisa..	21
Gambar 4.2	Sinyal dengan gangguan kualitas daya sag.....	22
Gambar 4.3	Sinyal dengan gangguan kualitas daya swell.....	23
Gambar 4.4	Sinyal dengan gangguan kualitas daya flicker.....	23
Gambar 4.5	Sinyal dengan gangguan kualitas daya notching....	24
Gambar 4.6	Sinyal dengan gangguan kualitas daya spike.....	25
Gambar 4.7	Sinyal sinusoida murni tanpa gangguan kualitas daya.....	26
Gambar 4.8	Sinyal dengan gangguan kualitas daya harmonisa dengan durasi 0.16 detik.....	27
Gambar 4.9	Sinyal dengan gangguan kualitas daya sag dengan durasi 0.16 detik.....	28
Gambar 4.10	Sinyal dengan gangguan kualitas daya swell dengan durasi 0.16 detik.....	29
Gambar 4.11	Sinyal dengan gangguan kualitas daya flicker dengan durasi 0.16 detik.....	29
Gambar 4.12	Sinyal dengan gangguan kualitas daya notching dengan durasi 0.16 detik.....	30
Gambar 4.13	Sinyal dengan gangguan kualitas daya spike dengan durasi 0.16 detik.....	31
Gambar 4.14	Sinyal sinusoida murni tanpa gangguan kualitas daya.....	32
Gambar 4.15	Sinyal dengan gangguan kualitas daya harmonisa	33

	dengan durasi 0.2 detik.....	
Gambar 4.16	Sinyal dengan gangguan kualitas daya sag dengan durasi 0.2 detik.....	34
Gambar 4.17	Sinyal dengan gangguan kualitas daya swell dengan durasi 0.2 detik.....	35
Gambar 4.18	Sinyal dengan gangguan kualitas daya flicker dengan durasi 0.2 detik.....	35
Gambar 4.19	Sinyal dengan gangguan kualitas daya notching dengan durasi 0.2 detik.....	36
Gambar 4.20	Sinyal dengan gangguan kualitas daya spike dengan durasi 0.2 detik.....	37
Gambar 4.21	Sinyal sinusoida murni dengan durasi 0.2 detik.....	38
Gambar 4.22	(a) merupakan sinyal harmonisa, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal harmonisa.....	39
Gambar 4.23	merupakan sinyal sag, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal sag.....	40
Gambar 4.24	(a) merupakan sinyal swell, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal swell.....	41
Gambar 4.25	(a) merupakan sinyal flicker, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal flicker.....	42
Gambar 4.26	(a) merupakan sinyal notching, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal notching.....	43
Gambar 4.27	(a) merupakan sinyal spike, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal spike.....	44
Gambar 4.28	(a) merupakan sinyal normal, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal normal.....	45
Gambar 4.29	(a) merupakan sinyal harmonisa, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal harmonisa.....	46
Gambar 4.30	(a) merupakan sinyal sag, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal sag.....	47
Gambar 4.31	(a) merupakan sinyal swell, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal swell.....	48
Gambar 4.32	(a) merupakan sinyal flicker, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal flicker.....	49
Gambar 4.33	(a) merupakan sinyal notching, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal notching.....	50
Gambar 4.34	(a) merupakan sinyal spike, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal spike.....	51

Gambar 4.35	(a) merupakan sinyal normal, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal normal.....	52
Gambar 4.36	(a) merupakan sinyal harmonisa, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal harmonisa.....	53
Gambar 4.37	(a) merupakan sinyal sag, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal sag.....	54
Gambar 4.38	(a) merupakan sinyal swell, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal swell.....	55
Gambar 4.39	(a) merupakan sinyal flicker, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal flicker.....	56
Gambar 4.40	(a) merupakan sinyal notching, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal notching.....	57
Gambar 4.41	(a) merupakan sinyal spike, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal spike.....	58
Gambar 4.42	(a) merupakan sinyal normal, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal normal.....	59
Gambar 4.43	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 50 epochs dan jumlah neuron [5 5 1]	60
Gambar 4.44	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 100 epochs dan jumlah neuron [5 5 1].....	61
Gambar 4.45	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 150 epochs dan jumlah neuron [5 5 1]	62
Gambar 4.46	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 50 epochs dan jumlah neuron [10 10 1]	63
Gambar 4.47	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 100 epochs dan jumlah neuron [10 10 1]	64
Gambar 4.48	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 150 epochs dan jumlah neuron [10 10 1]	65
Gambar 4.49	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 150 epochs dan jumlah neuron [10 10 1]	66
Gambar 4.50	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.16 detik dengan 100 epochs dan jumlah neuron [5 5 1]	67

Gambar 4.51	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.16 detik dengan 150 epochs dan jumlah neuron [5 5 1]	68
Gambar 4.52	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.16 detik dengan 50 <i>epochs</i> dan jumlah neuron [10 10 1]	69
Gambar 4.53	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.16 detik dengan 100 epochs dan jumlah neuron [10 10 1]	70
Gambar 4.54	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.16 detik dengan 150 epochs dan jumlah neuron [10 10 1]	71
Gambar 4.55	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 50 <i>epochs</i> dan jumlah neuron [5 5 1]	72
Gambar 4.56	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 100 epochs dan jumlah neuron [5 5 1]	73
Gambar 4.57	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 150 epochs dan jumlah neuron [5 5 1]	74
Gambar 4.58	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 50 epochs dan jumlah neuron [10 10 1]	75
Gambar 4.59	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 50 <i>epochs</i> dan jumlah neuron [10 10 1]	76
Gambar 4.60	Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 50 epochs dan jumlah neuron [10 10 1]	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Jenis gangguan kualitas daya menurut standar IEEE 1159-1995.....	17
Tabel 2	Formula dari masing-masing jenis gangguan kualitas daya dengan parameternya.....	18
Tabel 3	Parameter pelatihan ANN.....	20
Tabel 4	Identitas Sinyal.....	21
Tabel 5	Hasil pelatihan ANN (Mean Squared Error).....	78
Tabel 6	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1].....	85
Tabel 7	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1].....	85
Tabel 8	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1].....	86
Tabel 9	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1].....	87
Tabel 10	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1].....	87
Tabel 11	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1].....	88
Tabel 12	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1].....	88
Tabel 13	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1].....	89
Tabel 14	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1].....	89
Tabel 15	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1].....	90
Tabel 16	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1].....	90
Tabel 17	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1].....	91
Tabel 18	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1].....	91
Tabel 19	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1].....	92
Tabel 20	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1].....	92

Tabel 21	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 50 epochs, neuron [10 10 1].....	93
Tabel 22	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 100 epochs, neuron [10 10 1].....	93
Tabel 23	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 150 epochs, neuron [10 10 1].....	94
Tabel 24	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1].....	94
Tabel 25	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1].....	95
Tabel 26	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1].....	95
Tabel 27	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 50 epochs, neuron [10 10 1].....	96
Tabel 28	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 100 epochs, neuron [10 10 1].....	96
Tabel 29	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 150 epochs, neuron [10 10 1].....	97
Tabel 30	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1].....	97
Tabel 31	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1].....	98
Tabel 32	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1].....	98
Tabel 33	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 50 epochs, neuron [10 10 1].....	99
Tabel 34	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 100 epochs, neuron [10 10 1].....	99
Tabel 35	Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 150 epochs, neuron [10 10 1].....	100

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas daya listrik menjadi hal yang perlu diperhatikan seiring dengan perkembangan teknologi dimana peralatan listrik modern yang memiliki kepekaan tinggi terhadap gangguan kualitas daya listrik. Gangguan kualitas daya listrik dapat berdampak pada ketidaksempurnaan operasi peralatan listrik, menyebabkan kerusakan peralatan listrik yang berujung pada kerugian ekonomi. Kehadiran gangguan kualitas daya listrik sangat mempengaruhi proses dan hasil produksi dari proses yang berjalan. Penurunan kualitas daya listrik disebabkan oleh gangguan yang berupa voltage sag, voltage swell, gangguan sesaat, harmonisa, flicker yang akan menyebabkan kegagalan operasi, ketidakstabilan sistem, memperpendek umur peralatan, dan lain sebagainya. Gangguan kualitas daya listrik adalah persoalan yang berkaitan dengan perubahan komponen arus, tegangan, dan frekuensi yang bisa menyebabkan gangguan pada sisi pembangkit maupun pada sisi pengguna.

Untuk mendeteksi gangguan kualitas daya, short time discrete Fourier transform (STFT) adalah metode yang paling sering digunakan. Namun metode ini memiliki kekurangan yaitu ketidakmampuannya dalam melacak sinyal gangguan yang bersifat non-stasioner dikarenakan jendela yang digunakan memiliki ukuran yang tetap. Metode STFT juga tidak mampu untuk menganalisa sinyal transien yang terdiri dari komponen frekuensi tinggi dan frekuensi rendah

Metode transformasi wavelet dapat menjadi solusi dari keterbatasan yang dimiliki oleh metode STFT. Transformasi wavelet menggunakan jendela pendek pada frekuensi tinggi dan jendela panjang pada frekuensi rendah. Penggunaan dua jendela dengan ukuran yang berbeda pada dua rentang frekuensi yang berbeda membuat transformasi wavelet mampu digunakan untuk menganalisa sinyal yang bersifat non-stasioner. Metode ini dapat mengekstraksi fitur yang dimiliki oleh sebuah sinyal ke dalam bentuk domain waktu dan domain frekuensi dan telah diaplikasikan secara luas di bidang pendeteksian dan klasifikasi gangguan kualitas daya listrik. Dibalik kelebihanannya, metode ini memiliki beberapa kekurangan yaitu proses komputasi yang berlebihan sehingga penggunaan memori perangkat yang banyak, peka terhadap noise, dan nilai keakuratannya bergantung pada basis wavelet yang dipilih.

Transformasi-S adalah metode yang berupa pengembangan dari transformasi wavelet untuk mengekstrak fitur yang terkandung dalam sinyal. Jendela pada metode ini dapat bergerak dan berubah ukurannya. Karakter dari jendela pada transformasi-S menjadi keunggulannya bila dibandingkan dengan kedua metode yang telah disebutkan. Metode ini mampu mendeteksi adanya gangguan pada sinyal dengan tepat meskipun terdapat noise pada sinyal tersebut. Keunggulan lain pada transformasi-S yaitu tidak memerlukan langkah testing yang terdapat pada metode transformasi wavelet, langkah testing dari beberapa dekomposisi dari wavelet bertujuan untuk mencari wavelet yang tepat untuk mendapatkan hasil klasifikasi yang akurat.[1] Kemudian penguraian sinyal gangguan pada resolusi yang berbeda tidak diperlukan pada transformasi-S, dengan demikian metode ini dapat mengurangi penggunaan memori yang diakibatkan dari proses komputasi.

Setelah melakukan deteksi gangguan kualitas daya listrik, untuk melakukan klasifikasi dari jenis gangguan kualitas daya listrik dengan menggunakan metode Artificial Neural Network (ANN). ANN akan dilatih untuk mampu mengklasifikasikan jenis gangguan kualitas daya listrik yang terjadi. Dengan demikian, penyebab penurunan kualitas daya listrik dapat dikenali. Artificial Neural Network atau Jaringan Saraf Tiruan (JST) memerlukan sebuah pembelajaran atau pelatihan dalam mengolah input yang diberikan pada jaringan tersebut.

Jaringan saraf tiruan memerlukan suatu pelatihan atau pembelajaran dalam memproses *input* yang diberikan. Telah banyak metode yang dikembangkan untuk melatih Jaringan saraf tiruan. Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa algoritma *Levenberg-Marquardt* adalah algoritma yang cepat dan memiliki konvergensi yang stabil [2]

1.2 Perumusan Masalah

Gangguan kualitas daya memiliki karakteristik non-stasioner. Beberapa metode telah digunakan seperti short time Fourier Transform (STFT) dan wavelet transform (WT). STFT tidak dapat digunakan untuk menganalisa sinyal dengan karakteristik non-stasioner, sedangkan WT memiliki kelemahan penggunaan memori yang besar dan proses komputasi yang panjang. Maka dari itu diperlukan sebuah metode untuk mengekstraksi fitur yang terkandung dalam sinyal gangguan kualitas daya. Setelah didapatkan ekstraksi fitur dari sinyal gangguan kualitas

daya, selanjutnya diperlukan metode untuk pengklasifikasian gangguan kualitas daya yang terjadi.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah :

1. Mendapatkan informasi hasil dari ekstraksi sinyal dengan menggunakan S-transform
2. Mendapatkan hasil dari klasifikasi gangguan kualitas daya dengan menggunakan Artificial Neural Network (ANN)

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Semua jenis sinyal gangguan kualitas daya dihasilkan melalui simulasi.
2. Semua sinyal gangguan kualitas daya bebas dari adanya *noise*
3. Kegiatan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan MATLAB

1.5 Metodologi

1. Studi Literatur

Proses yang dilakukan dengan mempelajari literatur dari buku, jurnal ilmiah, artikel ilmiah dan sumber lainnya. Hal yang dipelajari adalah terkait tentang jenis-jenis gangguan kualitas daya, transformasi-S, dan Artificial Neural Network (ANN).

2. Pengumpulan Data

Pada proses ini dilakukan pengumpulan data sinyal gangguan kualitas daya yang dihasilkan oleh simulasi MATLAB. Data tersebut selanjutnya akan diolah dengan transformasi-S

3. Pengolahan Data

Sinyal gangguan kualitas daya akan diolah dengan menggunakan transformasi-S untuk mengekstraksi fiturnya. Data hasil ekstraksi akan digunakan untuk pemodelan program Artificial Neural Network (ANN).

4. Pelatihan dan Pengujian Artificial Neural Network (ANN)

Program Artificial Neural Network (ANN) akan dilatih untuk mengenali jenis-jenis gangguan kualitas daya dengan data hasil ekstraksi dengan transformasi-S. Pelatihan ANN akan menghasilkan model. Model

tersebut akan digunakan untuk mengklasifikasikan jenis gangguan kualitas daya .Setelah proses pelatihan, akan dilakukan proses pengujian model. Selanjutnya hasil pengujian model akan diverifikasi untuk mengetahui kualitas dari pemodelan tersebut.

5. Analisa Data

Analisa data dilakukan pada hasil dari ekstraksi fitur sinyal gangguan kualitas daya dengan transformasi-S dan hasil pengujian program Artificial Neural Network (ANN).

6. Kesimpulan

Setelah melakukan analisis hasil simulasi, maka ditarik suatu kesimpulan berdasarkan kondisi-kondisi yang ada. Kesimpulan ini juga diakhiri dengan saran atau rekomendasi terhadap penelitian selanjutnya.

7. Penyusunan Buku Tugas Akhir

Setelah tahap simulasi dan analisa selesai, selanjutnya akan dilakukan penyusunan buku tugas akhir

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut:

Bab 1: PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari penelitian.

Bab 2: KUALITAS DAYA LISTRIK, TRANSFORMASI-S, DAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)

Bab ini berisi mengenai dasar teori yang merupakan penjelasan gangguan kualitas daya listrik, *S-Transform*, dan *Artificial Neural Network (ANN)*

Bab 3: PROSES PENGAMBILAN DATA DAN METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang penjelasan proses pengambilan data dan proses *S-Transform* dan *Artificial Neural Network (ANN)*

Bab 4 :SIMULASI DAN ANALISIS DATA

Bab ini berisi hasil pembangkitan sinyal melalui simulasi, hasil *S-Transform* dari sinyal yang dibangkitkan dan hasil pelatihan *Artificial Neural Network (ANN)*

Bab 5: PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil pembahasan masalah dan saran-saran yang berhubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai berikut:

1. Memberikan manfaat terhadap perkembangan sistem tenaga listrik khususnya pada permasalahan mengenai kualitas daya listrik dan gangguan yang menyertainya
2. Dapat menambah penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang optimasi pembangkitan tenaga listrik bagi penulis.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil penelitian dengan permasalahan serupa.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

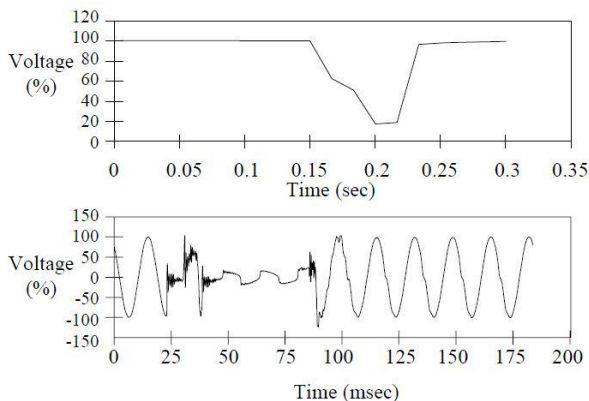
KUALITAS DAYA LISTRIK, TRANSFORMASI-S, DAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)

2.1 Kualitas Daya Listrik

Istilah kualitas daya listrik mengacu pada keberagaman dari fenomena elektromagnetik yang dapat mempengaruhi arus dan tegangan pada sistem tenaga listrik[3]. Berikut adalah jenis-jenis gangguan kualitas daya yang akan diteliti pada penelitian ini :

2.1.1 Voltage Sag

Voltage sag atau sag tegangan terjadi bila level tegangan RMS mengalami penurunan sebesar 10% sampai dengan 90% dari nominalnya dengan durasi $\frac{1}{2}$ cycle sampai 1 menit. Sag tegangan diklasifikasikan sebagai gangguan singkat. Mengacu pada IEEE 1159-1995, penggunaan istilah sag memiliki arti tegangan mengalami penurunan sebesar presentase dari nilai normalnya. Sebagai contoh sag 30%, memiliki arti tegangan mengalami penurunan ke level 30% dari nilai normalnya.



Gambar 2.1 Bentuk gelombang tegangan saat terjadi sag

Sag tegangan dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan durasinya :

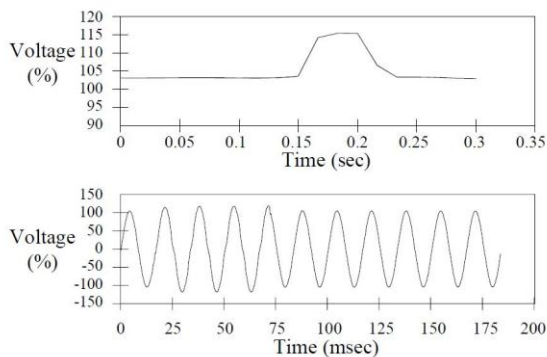
- Instantaneous ($\frac{1}{2}$ - 30 cycle)
- Momentary (30 cycle – 3 detik)

- Temporary (3 detik - 1 menit)

Pembagian kategori dihubungkan dengan waktu operasi peralatan pengaman yang direkomendasikan oleh organisasi teknis internasional. Sag tegangan adalah gangguan kualitas daya yang umum terjadi dan sebuah masalah yang penting yang berdampak pada konsumen baik industri maupun komersil dimana gangguan sag tegangan tidak dapat diamati dengan melihat dari kedipan lampu, namun karena hal ini beberapa proses dalam industri dapat berhenti. Dampak dari sag tegangan dapat menyebabkan sistem mengalami shutdown atau dapat menurunkan efisiensi dan umur dari peralatan listrik terutama motor listrik.

2.1.2 Voltage Swell

Voltage swell atau swell tegangan terjadi bila level tegangan RMS naik ke 110% sampai dengan 180% dari nilai nominalnya dengan durasi $\frac{1}{2}$ cycle sampai 1 menit. Swell tegangan diklasifikasikan sebagai gangguan singkat. Mengacu pada IEEE 1159-1995, penggunaan istilah swell memiliki arti tegangan mengalami kenaikan sebesar presentase dari nilai normalnya. Swell tegangan selalu bernilai lebih dari 100% dari nilai normalnya. Sebagai contoh, bila terjadi swell 130% memiliki arti bahwa tegangan sedang mengalami peningkatan ke level 130% dari nilai normalnya.



Gambar 2.2 Bentuk gelombang tegangan saat terjadi swell

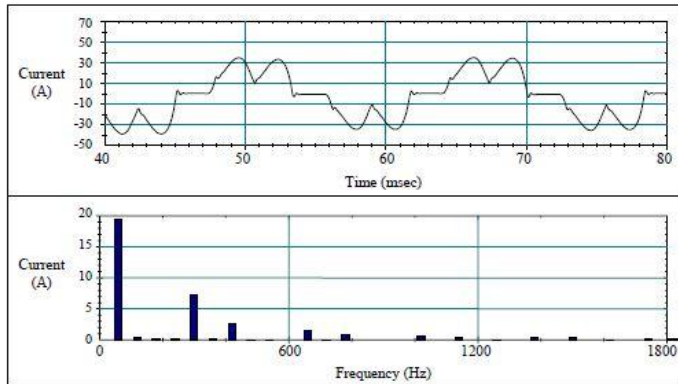
Swell tegangan dapat disebabkan oleh gangguan satu fasa ke tanah dan pelepasan beban dengan jumlah yang besar dalam satu waktu. Pada gangguan satu fasa ke tanah dapat menyebabkan kenaikan tegangan di fasa yang tidak diketanahkan.

Dampak dari swell tegangan memiliki peluang lebih besar bersifat destruktif. Mampu merusak komponen suplai daya dari peralatan secara berangsur namun bersifat akumulatif, panas berlebih yang kemudian menyebabkan shutdown, kerusakan pada peralatan elektronik dan perangkat lainnya yang sensitif terhadap swell tegangan.

2.1.3 Harmonisa

Harmonisa adalah tegangan atau arus sinusoidal yang memiliki frekuensi kelipatan integer dari dasar sistem (50 Hz atau 60 Hz). Hal ini berarti bila pada sistem 50 Hz, frekuensi harmonisanya adalah 100 Hz (harmonisa ke-2), 150 Hz (harmonisa ke-3), dan seterusnya. Harmonisa yang muncul bersama komponen dasar dari arus atau tegangan akan menghasilkan distorsi gelombang. Kehadiran harmonisa diakibatkan dari karakter nonlinear sebuah peralatan dan beban pada sistem tenaga. Harmonisa dapat digambarkan dengan sebuah alat yang menghasilkan arus harmonisa ke dalam sistem tenaga. Distorsi tegangan terjadi karena arus tersebut mengakibatkan drop tegangan pada impedansi sistem. Bila harmonisa dikombinasikan dengan tegangan dan arus pada keadaan normal akan menghasilkan bentuk sinyal non-sinusoidal yang kemudian akan terjadi distorsi pada gelombang. Bentuk sinyal non-sinusoidal merupakan hasil dari penjumlahan dari beberapa sinyal sinusoidal dengan magnitudo, sudut fasa, dan frekuensi yang berbeda serta merupakan kelipatan dari frekuensi sistem. Harmonisa menjadi hal yang terus menjadi perhatian untuk konsumen dan keseluruhan sistem tenaga akibat dari meningkatnya penggunaan peralatan elektronika daya. Tingkat distorsi dari harmonisa dapat dilihat dari spektrum harmonisa dengan magnitudo dan sudut fasanya untuk setiap komponen harmonisa. THD (Total Harmonic Distortion) merupakan satuan dari magnitudo distorsi harmonisa.

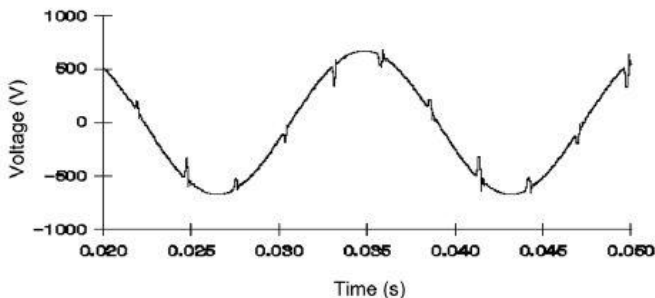
Dampak umum yang diakibatkan oleh harmonisa adalah timbulnya panas berlebih pada peralatan dan kabel. Pada harmonisa dengan tingkat yang tinggi mengakibatkan : interferensi elektromagnetik dengan sistem komunikasi, penurunan efisiensi pada mesin listrik, error pada alat pengukuran, dan lain sebagainya.



Gambar 2.3 Bentuk gelombang arus (atas) dan spektrum harmonisa (bawah) dari input arus pada ASD-Adjustable Speed Drive

2.1.4 Notching

Notching adalah gangguan pada bentuk tegangan yang bersifat periodik diakibatkan oleh operasi perangkat elektronika daya saat arus berkomutasi dari satu fasa ke fasa lainnya. Notching memiliki komponen frekuensi tinggi juga bersifat periodik, sehingga notching dapat dianggap sebagai transien dan harmonisa. Sifat periodic dari notching dapat dilihat pada spektrum harmonisa pada tegangan terdampak. Namun komponen frekuensi pada notching cukup tinggi dan mungkin tidak dapat diamati dengan peralatan yang biasa digunakan untuk menganalisa kasus harmonisa. Konverter tiga fasa menghasilkan output dc yang merupakan penyebab utama dari notching.



Gambar 2.4 Contoh dari bentuk gelombang terdampak

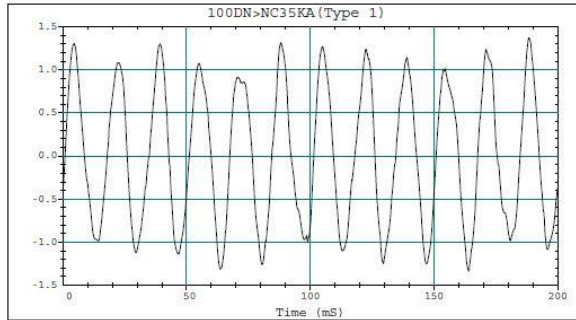
2.1.5 Flicker

Fluktuasi tegangan merupakan variasi yang bersifat sistematis dari perubahan tegangan secara acak, dalam ANSI C84.1 dikatakan bahwa magnitudonya berada di nilai 0.95 pu sampai 1.05 pu. Hal ini memiliki dampak visual berupa perubahan nyala dari sebuah lampu yang dapat kita amati, fenomena fluktuasi tegangan ini disebut flicker. Flicker adalah dampak dari fluktuasi tegangan pada penerangan akibat dari perubahan beban pada sistem yang berlangsung secara cepat. Dengan magnitude sebesar 0.25 pu dengan rentang frekuensi 6 Hz sampai 8 Hz, flicker pada sistem penerangan dapat kita amati.

Flicker memiliki efek yang signifikan pada lingkungan kerja karena dapat mengganggu konsentrasi dari pekerja yang dibantu dengan sistem penerangan. Selain itu juga dapat berdampak pada beberapa peralatan listrik yang sensitif terhadap flicker seperti memicu unit UPS ke mode baterai dan peralatan listrik yang membutuhkan suplai tegangan konstan. Beberapa peralatan yang dapat menyebabkan fluktuasi tegangan antara lain electric arc furnace, static frequency converters, cycloconverter, dan motor berkapasitas besar.

Penyebab lain yang bukan disebabkan oleh peralatan yang telah disebutkan adalah :

- Switching kapasitor, on load tap changer (OLTC), step voltage regulator dan peralatan lain yang mengubah komponen induktif dari impedansi sumbernya.
- Terjadi ketidakstabilan pada sistem pembangkitan (contoh : PLTB)
- Interharmonisa tegangan frekuensi rendah.



Gambar 2.5 Fluktuasi tegangan yang diakibatkan oleh arc furnace

2.2 S-Transform

Dalam penelitian ini digunakan transformasi-S untuk mendeteksi adanya gangguan kualitas daya. Transformasi-S merupakan pengembangan dari transformasi wavelet. Prinsip kerja dari transformasi-S berdasar pada jendela Gaussian yang dapat bergerak dan berubah ukurannya, prinsip inilah yang membuat transformasi-S lebih unggul daripada transformasi Fourier dan transformasi wavelet. Transformasi-S memiliki kemampuan untuk mengkonversikan domain waktu ke domain frekuensi 2-dimensi dan kemudian domain frekuensi Fourier. Sifat transformasi-S yang unggul adalah memodulasi sinusoida mengacu pada sumbu waktu saat jendela Gaussian sedang translasi dan dilatasi. Dampak dari sifatnya tersebut, spektrum fasa selalu mengacu pada sumbu waktu sinyal asalnya. Pada transformasi-S tidak diperlukan dekomposisi dari sinyal gangguan pada resolusi yang berbeda sehingga penggunaan memori dan proses komputasi dapat berkurang bila dibandingkan dengan transformasi wavelet[4].

Transformasi-S dapat dilihat sebagai perbaikan fasa dari transformasi wavelet kontinu (CWT – Continuous Wavelet Transform)[1]. Telah diketahui bahwa terdapat informasi yang terkandung di dalam fasa dari spektrum, sama halnya dengan amplitude. Untuk mendapatkan informasi yang terkandung dalam fasa dari CWT,

dibutuhkan ubahan pada fasa dari induk wavelet. CWT $W(\tau, \alpha)$ dari fungsi $h(t)$ didefinisikan sebagai

$$W(\tau, \alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) w(t - \tau, \alpha) dt \quad (1)$$

Dimana $w(t, \alpha)$ adalah tiruan dari induk wavelet dasar. Dilatasi dari α menunjukkan lebar dari wavelet dan sebagai pengendali dari resolusi. Transformasi-S diperoleh dengan mengalikam CWT dengan faktor fasa sebagai

$$S(\tau, f) = \exp(i2\pi f \tau) \cdot W(\tau, \alpha) \quad (2)$$

Dimana induk wavelet dalam hal ini diartikan sebagai

$$W(t, f) = \left(\frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} \right) \cdot \exp\left(\frac{-t^2 f^2}{2}\right) \cdot \exp(-i2\pi f t) \quad (3)$$

Pada persamaan diatas, faktor dilatasi α adalah invers dari frekuensi f . Dengan demikian, persamaan transformasi-S didapatkan sebagai

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \cdot \left(\frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} \right) \cdot \exp\left(-\frac{(\tau-t)^2 f^2}{2}\right) \cdot \exp(-i2\pi f t) dt \quad (4)$$

dan lebar dari jendela Gaussian adalah

$$\sigma(f) = T = \frac{1}{|f|} \quad (5)$$

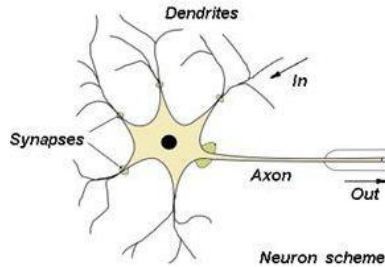
2.3 Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) bila diterjemahkan ke dalam Bahasa Indonesia adalah Jaringan Saraf Tiruan (JST). Jaringan Saraf

Tiruan adalah sebuah jaringan buatan dimana cara kerjanya terinspirasi dari cara kerja sistem saraf pada otak manusia, merupakan sistem dengan kemampuan untuk beradaptasi yang mampu untuk mengubah susunannya untuk memecahkan suatu masalah dengan berdasarkan informasi atau data yang mengalir melalui jaringan tersebut. Otak manusia terdiri dari jutaan sel neuron yang saling terhubung antara satu dengan lainnya, dimana bila mendapat informasi akan selalu diteruskan. Demikian juga pada JST. Jaringan saraf tiruan tidak diprogram untuk menghasilkan keluaran tertentu. Semua keluaran atau kesimpulan yang ditarik oleh jaringan didasarkan pengalamannya selama mengikuti proses pembelajaran. Pada proses pembelajaran, ke dalam jaringan saraf tiruan dimasukkan pola-pola masukan (dan keluaran) lalu jaringan akan diajari untuk memberikan jawaban yang bisa diterima[5].

JST tersusun atas model matematika dari jaringan saraf pada otak manusia dengan asumsi pemrosesan informasi terjadi pada banyak neuron. Neuron adalah salah satu jenis sel pada tubuh manusia yang menyusun jaringan saraf yang berfungsi untuk meneruskan informasi berupa rangsangan atau impuls ke seluruh tubuh manusia. Neuron pada JST memiliki peranan yang sama dengan neuron yang terdapat pada tubuh manusia. Diantara neuron-neuron tersebut terdapat penghubung untuk meneruskan sinyal informasi yang dikirimkan. Penghubung yang menghubungkan antar neuron tersebut memiliki “bobot”, yang mana bobot tersebut akan menyebabkan penguatan sinyal atau pelemahan sinyal. Untuk menentukan output dari JST, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi pada jumlah input yang diterimanya, kemudian besarnya output yang dikeluarkan akan dibandingkan dengan suatu batas ambang. Terinspirasi dari sifat biologis manusia yang dapat melakukan pembelajaran, JST memiliki kemampuan seperti manusia yang dapat melakukan pengenalan pola, mengklasifikasikan data melalui proses pembelajaran. Sebagai contohnya adalah seorang anak yang sedang mengamati lingkungan sekitarnya. Bila anak tersebut melihat seekor kucing, maka orangtuanya akan mengajarkan pada anak tersebut “itu seekor kucing”. Kemudian sang anak mengingatnya bahwa seekor kucing memiliki beberapa ciri seperti memiliki kumis, suara mengeong, memiliki ekor dan lain sebagainya sampai bila melihat seekor kucing lagi pada kesempatan lain anak tersebut mampu mengenalinya dan menyampaikan pada orangtuanya “Ibu, itu seekor kucing”. Pembelajaran berarti menambah pengetahuan, memahami dengan belajar, mengikuti intruksi. Inti dari pembelajaran pada mesin yaitu

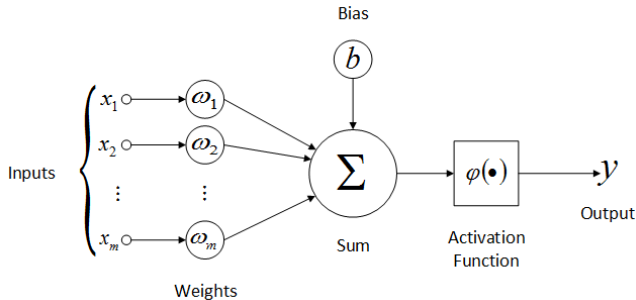
representasi dan generalisasi. Proses pembelajaran ini diadopsi oleh JST untuk dapat melakukan tugas-tugas seperti pengenalan pola dan pengklasifikasian data.



Gambar 2.6 Neuron pada sistem saraf manusia

Prinsip dari sebuah JST ditentukan oleh tiga komponen dasar model saraf diantaranya yaitu satu set penghubung antar neuron (sinapsis) yang masing-masing dikelompokkan berdasar “bobot”nya. Yang kedua adalah sebuah penambah yang berfungsi untuk melakukan penjumlahan sinyal-sinyal input, berdasar bobot dari penghubung masing-masing neuron. Yang ketiga adalah fungsi aktivasi yang berfungsi untuk membatasi amplitudo dari output neuron, tujuannya adalah supaya sinyal output memiliki sebuah batas dengan angka tertentu. Sama halnya dengan neuron pada manusia, ketika melakukan pembelajaran juga terjadi pengaturan pada penghubung antara neuron (sinapsis) supaya informasi atau impuls dapat diteruskan ke neuron lainnya. JST dapat digunakan apabila tidak dapat diformulasikannya algoritma untuk menyelesaikan suatu permasalahan, saat kita dihadapkan dengan data dengan memiliki pola tertentu, dan saat kita hendak melihat pola yang terdapat pada data.

Gambar 2.2.1 menunjukkan prinsip sederhana cara kerja dari sebuah neuron. Terdapat input x_1 , x_2 , sampai dengan x_n dengan bobot ω_1 , ω_2 , sampai dengan ω_n . Kemudian input tersebut dijumlahkan menjadi $x_1\omega_1 + x_2\omega_2 + x_3\omega_3 + \dots + x_n\omega_n$.



Gambar 2.7 Diagram neuron

Besarnya impuls yang diterima oleh Y mengikuti fungsi aktivasi $y = f(\text{net})$. Apabila nilai fungsi aktivasi cukup kuat, maka sinyal akan diteruskan. Nilai fungsi aktivasi (keluaran model jaringan) juga dapat dipakai sebagai dasar untuk mengubah bobot[6].

Jaringan disusun atas dua atau lebih komponen penyusunnya. Jaringan saraf tiruan disusun oleh neuron yang saling terhubung membentuk suatu struktur yang disebut arsitektur jaringan. Jenis-jenis arsitektur jaringan saraf tiruan diantaranya :

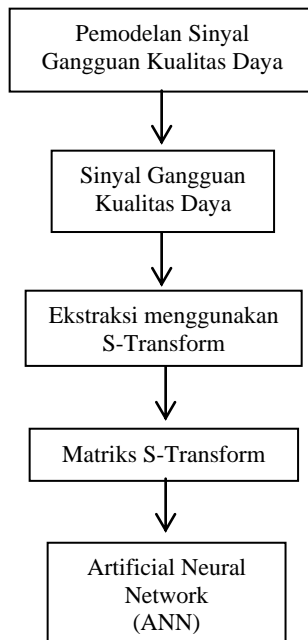
- Jaringan lapis tunggal (single-layer)
- Jaringan multi lapis (multi-layer)
- Jaringan kompetitif

Algoritma backpropagation melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan anantara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan serta kemampuan jaringan untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa (tapi tidak sama) dengan pola yang dipakai selama pelatihan. Ada beberapa algoritma pelatihan ANN yang telah dikembangkan. Dalam penelitian ini digunakan algoritma pelatihan Levenberg-Marquardt (LM). Algoritma Levenberg-Marquardt merupakan pengembangan dari algoritma *back propagation*. Algoritma ini menggunakan pendekatan matrik Jacobian. Levenberg-Marquardt digunakan karena memiliki kemampuan untu mengenali pola tertentu dan konvergensi dicapai dalam waktu yang lebih cepat daripada algoritma *back propagation* yang biasa[7].

BAB 3

PROSES PENGAMBILAN DATA DAN METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Tahapan-tahapan yang dilakukan dimulai dari pembangkitan sinyal sampai dengan pengolahan sinyal tersebut. Sinyal tersebut diolah dengan metode yang telah ditentukan, yang kemudian hasil dari pengolahan sinyal ini dapat digunakan untuk deteksi dan kualifikasi gangguan pada kualitas daya.



Gambar 3.1 Diagram alur kerja pada penelitian ini

Pada Gambar 3.1 menunjukkan alur kerja pada penelitian ini dimulai dari pembangkitan sinyal hingga pelatihan dengan ANN yang akan dijelaskan pada sub bab-sub bab berikut.

3.1 Pemodelan Sinyal

Untuk mendapatkan sinyal gangguan kualitas daya pada penelitian ini dilakukan pembangkitan sinyal gangguan kualitas daya dengan menggunakan MATLAB. Sinyal-sinyal yang dibangkitkan dan dijadikan objek pada penelitian ini yaitu harmonisa, *voltage sag*, *voltage swell*, *flicker*, *notching*, *spike*, dan sinyal tegangan tanpa gangguan kualitas daya. Sinyal-sinyal tersebut dibangkitkan dengan memiliki frekuensi 50 Hz sebagai frekuensi fundamental dengan standar IEEE 1159-1995. Sinyal-sinyal gangguan kualitas daya dibangkitkan dengan durasi 0.1 detik, 0.16 detik, dan 0.2 detik serta frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan 2500 Hz untuk masing-masing durasi. Dari variasi durasi dan frekuensi sampling didapatkan enam variasi sinyal yang berbeda dari tujuh jenis sinyal gangguan kualitas daya.

Tabel 1. Jenis gangguan kualitas daya menurut standar IEEE 1159-1995

No.	Jenis Gangguan	Durasi	Magnitude
1	Harmonisa	<i>Steady state</i>	0 - 20%
2	Sag	0.5 – 30 cycle	0.1 – 0.9 p.u
3	Swell	0.5 – 30 cycle	1.1 – 1.8 p.u
4	Flicker	<i>Intermittent</i>	0.1 – 7%
5	Notching	<i>Steady state</i>	-
6	Spike	<i>Steady State</i>	-

Tabel 1 menunjukkan jenis gangguan kualitas daya menurut standar IEEE 1159-1995. Tabel tersebut memberi informasi tentang ciri khas dari masing-masing jenis gangguan kualitas daya.

Tabel 2. Formula dari masing-masing jenis gangguan kualitas daya dengan parameternya

<i>Harmonisa</i> $V(t) = A\sin(\omega t) + A_3\sin(\omega_3 t) + A_5\sin(\omega_5 t) + A_7\sin(\omega_7 t) + A_9\sin(\omega_9 t)$ Dengan parameter $0.05 \leq A_3, A_5, A_7, A_9 \leq 0.15$	
<i>Sag</i> $V(t) = (1 - A(u(t - t_1) - u(t - t_2)))\sin\omega t$ Dengan parameter $0.1 \leq A \leq 0.9$, $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$	
<i>Swell</i>	

$V(t) = (1 + A(u(t - t_1) - u(t - t_2))) \sin \omega t$	
Dengan parameter $0.1 \leq A \leq 0.8$, $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$	
<i>Flicker</i>	$V(t) = (1 + A_f \sin(\beta \omega t)) \sin \omega t$
Dengan parameter $0.1 \leq A_f \leq 0.2$, $0.1 \leq \beta \leq 0.5$	
<i>Notching</i>	$V(t) = \sin(\omega t) - \text{sign}(\sin(\omega t)) \times \left[\sum_{n=0}^9 K \times \{u(t - (t_1 + 0.02n)) - u(t - (t_2 + 0.02n))\} \right]$
Dengan parameter $0.1 \leq K \leq 0.4$, $0 \leq t_1, t_2 \leq 0.5T$, $0.01T \leq t_2 - t_1 \leq 0.05T$	
<i>Spike</i>	$V(t) = \sin(\omega t) + \text{sign}(\sin(\omega t)) \times \left[\sum_{n=0}^9 K \times \{u(t - (t_1 + 0.02n)) - u(t - (t_2 + 0.02n))\} \right]$
Dengan parameter $0.1 \leq K \leq 0.4$, $0 \leq t_1, t_2 \leq 0.5T$, $0.01T \leq t_2 - t_1 \leq 0.05T$	

Sinyal dibangkitkan menggunakan MATLAB, sesuai dengan formula yang tertera pada Tabel 2.

3.2 Pengolahan Sinyal

Dalam tahapan pengolahan sinyal terdapat dua urutan metode. Yang pertama yaitu melakukan S-transform pada sinyal yang telah dibangkitkan, S-transform dilakukan untuk mengekstrak fitur yang terkandung didalam sinyal. Kedua adalah menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk melakukan deteksi dan klasifikasi gangguan kualitas daya yang terjadi.

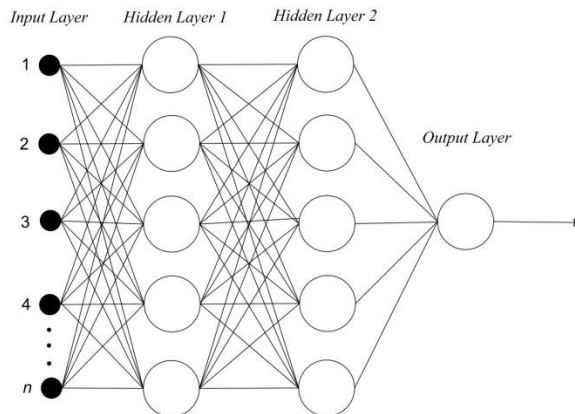
3.2.1 S-Transform

S-transform dilakukan untuk mengekstraksi fitur yang terkandung di dalam sinyal. Dengan diekstraknya fitur yang terkandung di dalam sinyal, dapat diketahui komponen-komponen frekuensi yang menyusun sinyal tersebut. S-transform memiliki kemampuan untuk melakukan analisis multiresolusi pada sinyal dengan variasi waktu dan dengan lebar jendela bervariasi. Hal ini memberikan kemampuan S-transform untuk menganalisa dengan resolusi *high time* pada frekuensi tinggi dan resolusi frekuensi tinggi pada *low time* sehingga S-transform dapat diaplikasikan pada sinyal-sinyal gangguan kualitas daya yang bersifat non-stasioner. Dalam penelitian ini, tujuh jenis sinyal yang disimulasikan kemudian diekstraksi dengan menggunakan S-transform. Sinyal hasil ekstraksi dengan S-transform akan disimpan dalam suatu

matriks. Matriks tersebut berisi informasi hasil ekstraksi, barisnya merupakan amplitudo S-transform pada semua frekuensi pada waktu yang sama sedangkan kolomnya merupakan amplitudo S-transformasi dengan semua variasi waktu dimulai dari awal hingga akhir sinyal pada frekuensi yang sama. Matriks tersebut merupakan hasil absolut dari S-transform yang diperoleh untuk mengekstraksi informasi waktu-frekuensi dari sinyal.

3.2.2 Artificial Neural Network (ANN)

Dalam penelitian ini digunakan metode ANN untuk melakukan klasifikasi gangguan kualitas daya yang terjadi. ANN dilatih untuk mengenali tujuh jenis sinyal gangguan kualitas daya (salah satunya merupakan sinyal sinusoida normal dengan frekuensi 50 Hz). Input dari ANN merupakan hasil dari S-transform setiap sinyal gangguan kualitas daya (termasuk sinyal normal tanpa gangguan kualitas daya). Apabila input dari ANN merupakan *raw data* (data murni yang belum diolah), terdapat risiko berupa neuron mencapai titik saturasinya. Bila neuron telah mencapai titik saturasinya, perubahan nilai input akan menghasilkan perubahan nilai yang kecil pada output sebagai akibatnya. Untuk menghindari risiko yang telah disebutkan, perlu dilakukan normalisasi.



Gambar 3.2 Arsitektur ANN dengan konfigurasi neuron [5 5 1]

ANN yang digunakan adalah Back Propagation Neural Network (BPNN) dengan metode pelatihan ANN menggunakan algoritma Levenberg-Marquardt dengan 2 layer hidden. Gambar 3.2 mengilustrasikan arsitektur ANN yang digunakan pada penelitian ini. *Hidden layer 1* menggunakan *transfer function* tan-sigmoid, *hidden layer2* menggunakan log-sigmoid, layer output menggunakan linier. Setelah pelatihan selesai dilakukan, selanjutnya adalah pengujian hasil pelatihan dengan menggunakan *Back Propagation Neural Network* (ANN).

Setelah sinyal diolah melalui tahap S-transform, hasil dari S-transform menjadi input dari *artificial neural network* (ANN). Data akan digunakan untuk melatih jaringan dengan parameter sebagai berikut :

Tabel 3 Parameter pelatihan ANN

Durasi Sinyal	Epochs	Konfigurasi Neuron
0.1 detik	50	[5 5 1] [10 10 1]
	100	[5 5 1] [10 10 1]
	150	[5 5 1] [10 10 1]
0.16 detik	50	[5 5 1] [10 10 1]
	100	[5 5 1] [10 10 1]
	150	[5 5 1] [10 10 1]
0.2 detik	50	[5 5 1] [10 10 1]
	100	[5 5 1] [10 10 1]
	150	[5 5 1] [10 10 1]
Catatan : Cara membaca konfigurasi neuron [Hidden layer 1 Hidden layer 2 Output layer]		

Pada Tabel 3 menunjukkan masing masing durasi sinyal akan dilatih dengan konfigurasi neuron [5 5 1] dan [10 10 1], dan jumlah iterasi 50, 100, dan 150. Maka dihasilkan 18 variasi data pelatihan ANN.

Tabel 4 Identitas sinyal

Sinyal	Identitas
Harmonisa	1
Sag	2
Swell	3
Flicker	4
Notching	5
Spike	6
Sinusoida murni 50 Hz	7

Data yang diperoleh dari S-transform di-*absolute* kan terlebih dahulu. Setelah itu data disusun dan diberi identitas sesuai dengan Tabel 4.

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISA DATA

Bab ini berisi tentang hasil simulasi dan analisa data pada penelitian ini dengan tujuan untuk mengevaluasi metode yang diusulkan pada penelitian ini. Yang pertama yaitu pemodelan sinyal gangguan kualitas daya. Kedua, selanjutnya adalah simulasi dan analisa hasil dari transformasi-S pada masing-masing sinyal gangguan kualitas daya yang telah dimodelkan. Ketiga adalah simulasi dan analisa data dari pelatihan *Artificial Neural Network* (ANN) dalam pengklasifikasian jenis gangguan kualitas daya, setelah dilakukannya pelatihan maka selanjutnya adalah pengujian terhadap hasil pelatihan tersebut.

4.1 Pemodelan Sinyal Gangguan Kualitas Daya

Pada penelitian ini, sinyal gangguan kualitas daya dimodelkan dengan menggunakan MATLAB. Sinyal yang dimodelkan yaitu :

No.	Sinyal
1	Harmonisa
2	Sag
3	Swell
4	Flicker
5	Notching
6	Spike
7	Sinusoida murni 50 Hz

Tabel 5 Sinyal yang dimodelkan

Sinyal dimodelkan dengan durasi 0.1 detik, 0.16 detik, dan 0.2 detik. Dengan frekuensi sampling 1000 Hz. Masing-masing sinyal diatas memiliki identitas berupa nomor 1 sampai dengan 7 yang akan digunakan pada langkah berikutnya.

4.1.1 Durasi 0.1 detik

1. *Harmonisa*

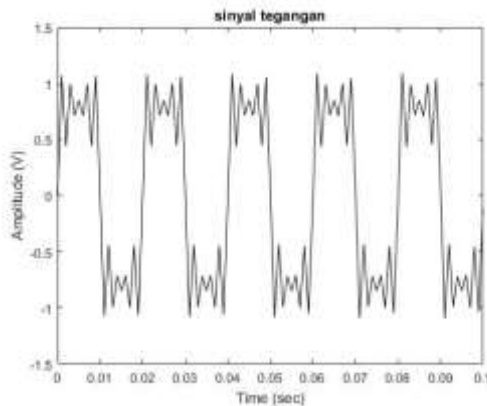
Sinyal harmonisa dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = A\sin(\omega t) + A_3\sin(\omega_3 t) + A_5\sin(\omega_5 t) + A_7\sin(\omega_7 t) + A_9\sin(\omega_9 t)$$

Dengan parameter :

$A = 1$	$f = 50 \text{ Hz}$
$A_3 = 0.3$	$f_3 = 150 \text{ Hz}$
$A_5 = 0.2$	$f_5 = 250 \text{ Hz}$
$A_7 = 0.3$	$f_7 = 350 \text{ Hz}$
$A_9 = 0.25$	$f_9 = 450 \text{ Hz}$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.1 detik.



Gambar 4.1 Sinyal dengan gangguan kualitas daya harmonisa

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.1 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Dengan frekuensi 50 Hz dan durasi 0.1 detik, dihasilkan delapan gelombang periodik.

2. Sag

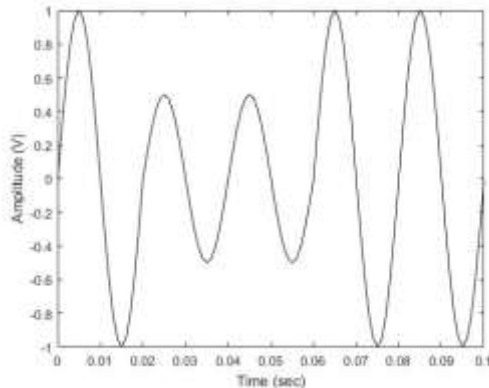
Sinyal sag dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = \left(1 - A(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin \omega t$$

Dengan parameter :

A=0.5	$t_1=0.02$
	$t_2=0.06$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.1 detik.



Gambar 4.2 Sinyal dengan gangguan kualitas daya sag

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.2 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan sag terjadi selama 0.04 detik dengan penurunan level tegangan sebesar 0.5 p.u.

3. *Swell*

Sinyal swell dimodelkan dengan formula :

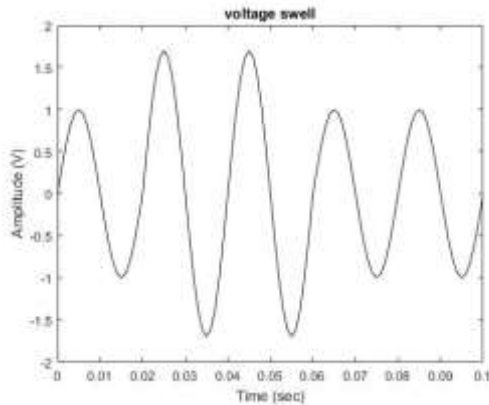
$$V(t) = \left(1 + A(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin \omega t$$

Dengan parameter :

A=0.7	$t_1=0.02$
	$t_2=0.06$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.1 detik. Sinyal memiliki

komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.3 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan kenaikan tegangan sebesar 0.7 p.u dan berlangsung selama 0.04 detik.



Gambar 4.3 Sinyal dengan gangguan kualitas daya swell

4. Flicker

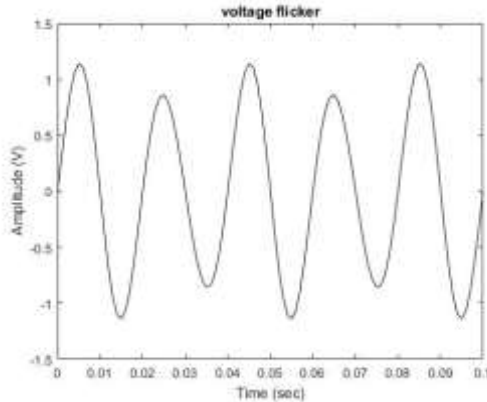
Sinyal flicker dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = (1 + A_f \sin(\beta \omega t)) \sin \omega t$$

Dengan parameter :

$A=0.2$	$\beta = 0.5$
---------	---------------

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.1 detik.



Gambar 4.4 Sinyal dengan gangguan kualitas daya flicker

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.4 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan terjadinya kenaikan level tegangan dengan puncaknya sebesar 1.2 p.u dan penurunan level tegangan dengan puncaknya sebesar 0.8 p.u. Naik dan turunnya level tegangan terjadi secara kontinyu dan periodik dimulai pada detik ke 0 hingga detik ke 0.1

5. *Notching*

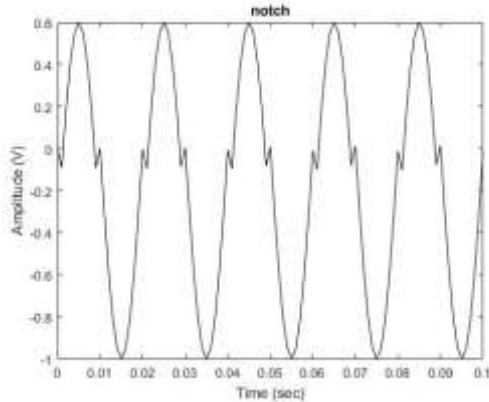
Sinyal notching dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = \sin(\omega t) - \text{sign}(\sin(\omega t)) \times \left[\sum_{n=0}^9 K \times \{u(t - (t_1 + 0.02n)) - u(t - (t_2 + 0.02n))\} \right]$$

Dengan parameter :

K=0.4	t ₁ =0.001
	t ₂ =0.01

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.1 detik.



Gambar 4.5 Sinyal dengan gangguan kualitas daya notching

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.5 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan terjadinya. Sinyal diatas memiliki nilai puncak positif sebesar 0.6 p.u dan nilai puncak negatif -1 p.u.

6. *Spike*

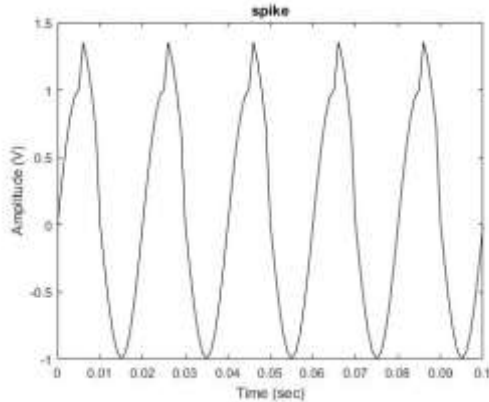
Sinyal spike dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = \sin(\omega t) + \text{sign}(\sin(\omega t)) \times \left[\sum_{n=0}^9 K \times \{u(t - (t_1 + 0.02n)) - u(t - (t_2 + 0.02n))\} \right]$$

Dengan parameter :

K=0.4	$t_1=0.006$
	$t_2=0.01$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.1 detik.



Gambar 4.6 Sinyal dengan gangguan kualitas daya spike

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.6 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Sinyal diatas memiliki nilai puncak positif sebesar 1.4 p.u dan nilai puncak negatif -1 p.u.

7. *Sinusoida murni*

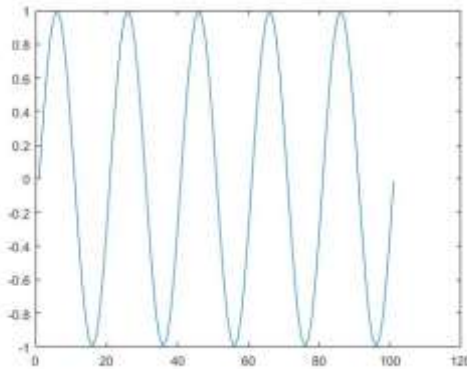
Sinyal sinusoida murni dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = A \sin \omega t$$

Dengan parameter :

$A = 1$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.1 detik.



Gambar 4.7 Sinyal sinusoida murni tanpa gangguan kualitas daya

Sinyal sinusoida murni yang dimodelkan memiliki frekuensi 50 Hz. Pada Gambar 4.7 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Sinyal diatas memiliki nilai puncak positif sebesar 1 p.u dan nilai puncak negatif -1 p.u.

4.1.2 Durasi 0.16 detik

1. *Harmonisa*

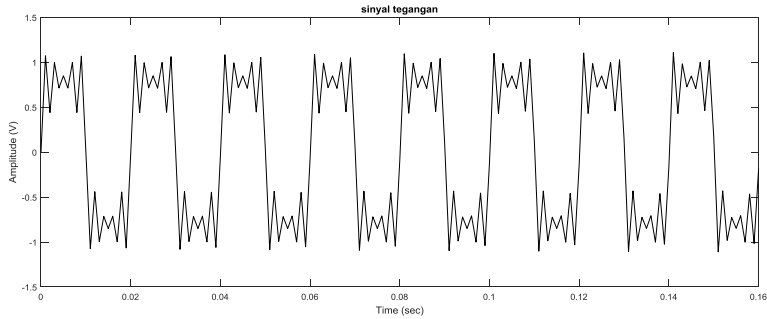
Sinyal harmonisa dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = A\sin(\omega t) + A_3\sin(\omega_3 t) + A_5\sin(\omega_5 t) + A_7\sin(\omega_7 t) + A_9\sin(\omega_9 t)$$

Dengan parameter :

$A = 1$	$f = 50 \text{ Hz}$
$A_3 = 0.3$	$f_3 = 150 \text{ Hz}$
$A_5 = 0.2$	$f_5 = 250 \text{ Hz}$
$A_7 = 0.3$	$f_7 = 350 \text{ Hz}$
$A_9 = 0.25$	$f_9 = 450 \text{ Hz}$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.16 detik.



Gambar 4.8 Sinyal dengan gangguan kualitas daya harmonisa dengan durasi 0.16 detik

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.8 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Dengan frekuensi 50 Hz dan durasi 0.1 detik, dihasilkan delapan gelombang.

2. Sag

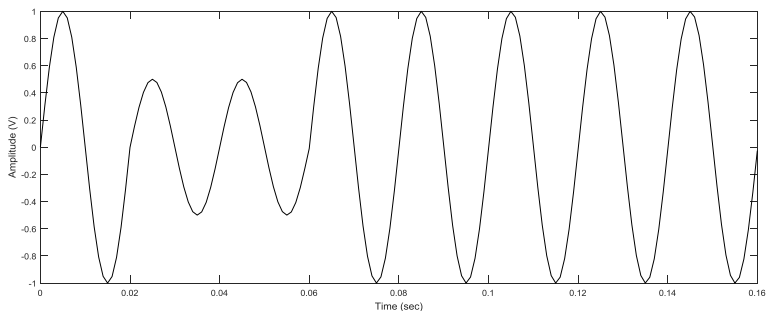
Sinyal sag dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = (1 - A(u(t - t_1) - u(t - t_2))) \sin \omega t$$

Dengan parameter :

A=0.5	$t_1=0.02$
	$t_2=0.06$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.16 detik. Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.9 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan sag terjadi selama 0.04 detik dengan penurunan level tegangan sebesar 0.5 p.u.



Gambar 4.9 Sinyal dengan gangguan kualitas daya sag dengan durasi 0.16 detik

3. *Swell*

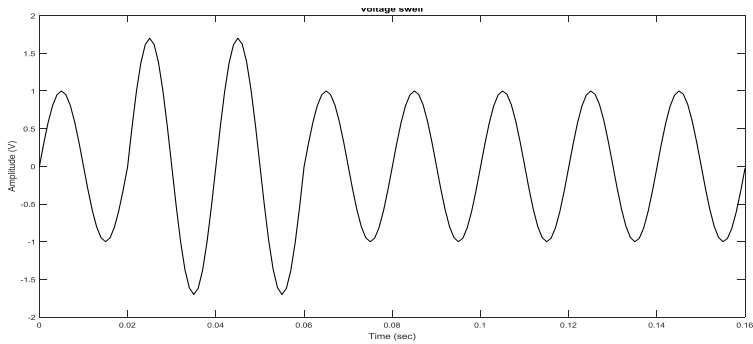
Sinyal swell dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = \left(1 + A(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin \omega t$$

Dengan parameter :

$A=0.7$	$t_1=0.02$
	$t_2=0.06$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.16 detik. Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.10 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan kenaikan tegangan sebesar 0.7 p.u dan berlangsung selama 0.04 detik.



Gambar 4.10 Sinyal dengan gangguan kualitas daya swell dengan durasi 0.16 detik

4. Flicker

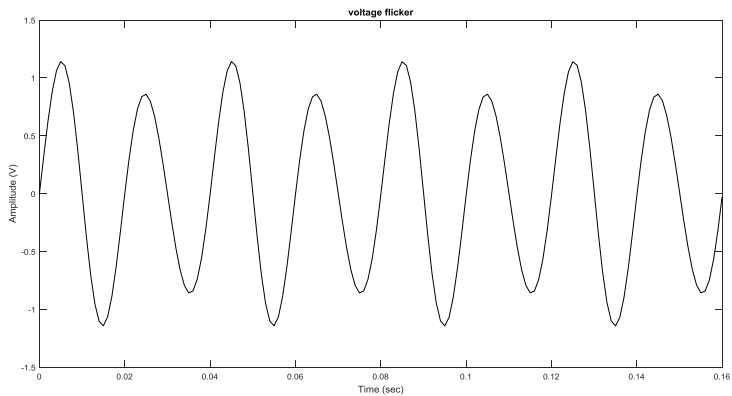
Sinyal flicker dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = (1 + A_f \sin(\beta \omega t)) \sin \omega t$$

Dengan parameter :

$A=0.2$	$\beta = 0.5$
---------	---------------

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.16 detik.



Gambar 4.11 Sinyal dengan gangguan kualitas daya flicker dengan durasi 0.16 detik

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.11 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari

sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan terjadinya kenaikan level tegangan dengan puncaknya sebesar 1.2 p.u dan penurunan level tegangan dengan puncaknya sebesar 0.8 p.u. Naik dan turunnya level tegangan terjadi secara kontinyu dan periodik dimulai pada detik ke 0 hingga detik ke 0.16

5. Notching

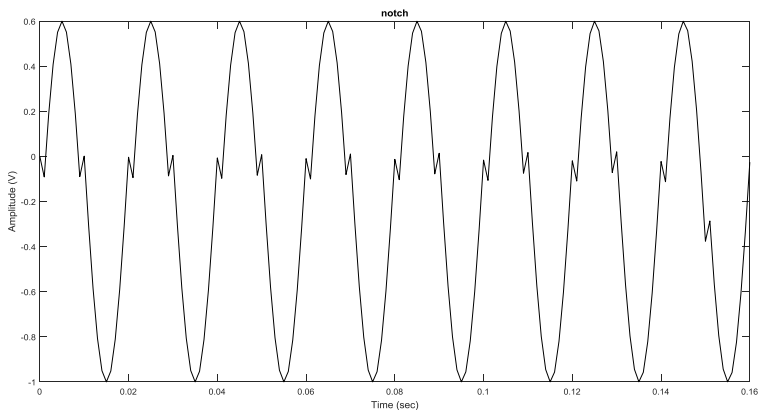
Sinyal notching dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = \sin(\omega t) - \text{sign}(\sin(\omega t)) \times \left[\sum_{n=0}^9 K \times \{u(t - (t_1 + 0.02n)) - u(t - (t_2 + 0.02n))\} \right]$$

Dengan parameter :

K=0.4	t ₁ =0.001
	t ₂ =0.01

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.16 detik.



Gambar 4.12 Sinyal dengan gangguan kualitas daya notching dengan durasi 0.16 detik

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.12 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan terjadinya. Sinyal

diatas memiliki nilai puncak positif sebesar 0.6 p.u dan nilai puncak negatif sebesar -1 p.u.

6. Spike

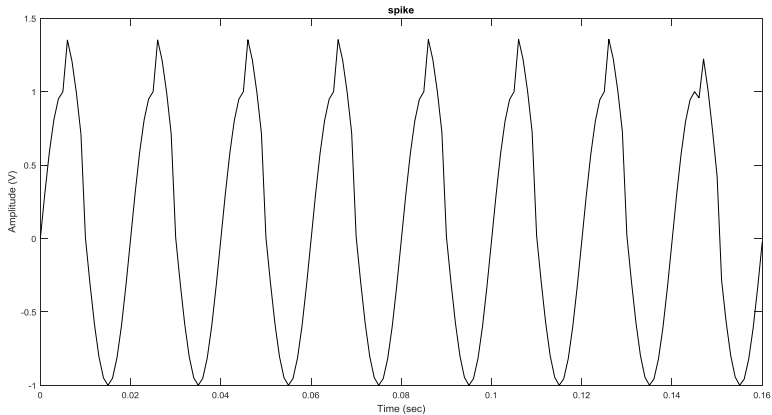
Sinyal spike dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = \sin(\omega t) + \text{sign}(\sin(\omega t)) \times \left[\sum_{n=0}^9 K \times \{u(t - (t_1 + 0.02n)) - u(t - (t_2 + 0.02n))\} \right]$$

Dengan parameter :

K=0.4	t ₁ =0.006
	t ₂ =0.01

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.16 detik.



Gambar 4.13 Sinyal dengan gangguan kualitas daya flicker dengan durasi 0.16 detik

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.13 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Sinyal diatas memiliki nilai puncak positif sebesar 1.4 p.u dan nilai puncak negatif -1 p.u.

7. Sinusoida murni

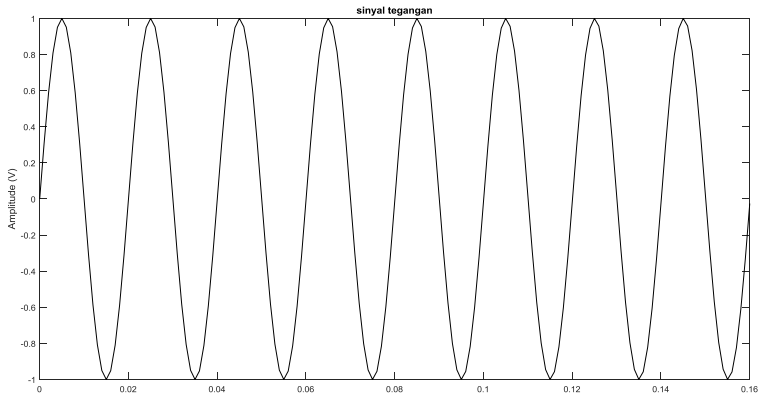
Sinyal sinusoida murni dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = A \sin \omega t$$

Dengan parameter :

$A = 1$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.1 detik.



Gambar 4.14 Sinyal sinusoida murni tanpa gangguan kualitas daya

Sinyal sinusoida murni yang dimodelkan memiliki frekuensi 50 Hz. Pada Gambar 4.14 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Sinyal diatas memiliki nilai puncak positif sebesar 1 p.u dan nilai puncak negatif -1 p.u.

4. 1. 3 Durasi 0.2 detik

1. Harmonisa

Sinyal harmonisa dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = A\sin(\omega t) + A_3\sin(\omega_3 t) + A_5\sin(\omega_5 t) + A_7\sin(\omega_7 t) + A_9\sin(\omega_9 t)$$

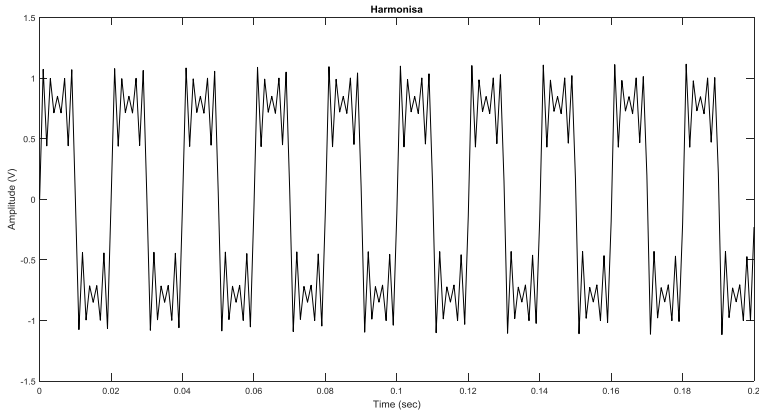
Dengan parameter :

$A = 1$	$f = 50 \text{ Hz}$
$A_3 = 0.3$	$f_3 = 150 \text{ Hz}$
$A_5 = 0.2$	$f_5 = 250 \text{ Hz}$
$A_7 = 0.3$	$f_7 = 350 \text{ Hz}$

$A_9 = 0.25$

$f_9 = 450 \text{ Hz}$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.2 detik.



Gambar 4.15 Sinyal dengan gangguan kualitas daya harmonisa dengan durasi 0.2 detik

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.15 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Dengan frekuensi 50 Hz dan durasi 0.1 detik, dihasilkan sepuluh gelombang.

2. Sag

Sinyal sag dimodelkan dengan formula :

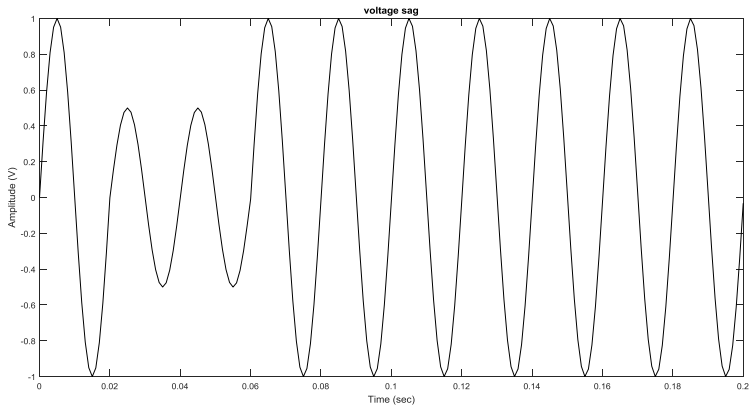
$$V(t) = \left(1 - A(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin \omega t$$

Dengan parameter :

$A=0.5$	$t_1=0.02$
	$t_2=0.06$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.16 detik. Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.16

terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan sag terjadi selama 0.04 detik dengan penurunan level tegangan sebesar 0.5 p.u.



Gambar 4.16 Sinyal dengan gangguan kualitas daya sag dengan durasi 0.2 detik

3. Swell

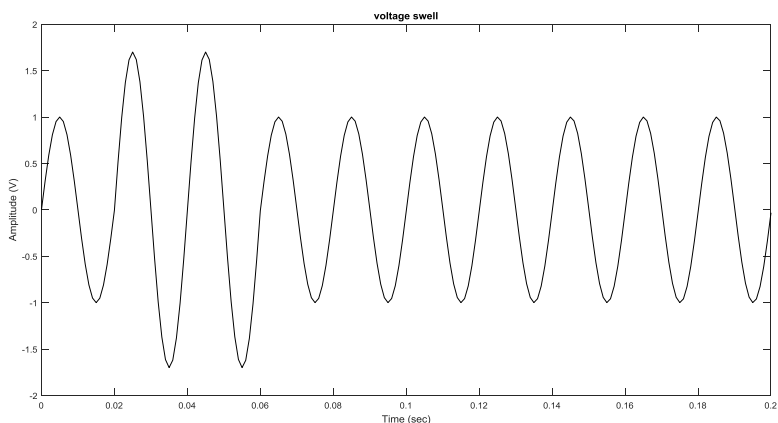
Sinyal swell dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = \left(1 + A(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin \omega t$$

Dengan parameter :

A=0.7	$t_1=0.02$
	$t_2=0.06$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.16 detik. Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.17 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan kenaikan tegangan sebesar 0.7 p.u dan berlangsung selama 0.04 detik.



Gambar 4.17 Sinyal dengan gangguan kualitas daya swell dengan durasi 0.2 detik

4. *Flicker*

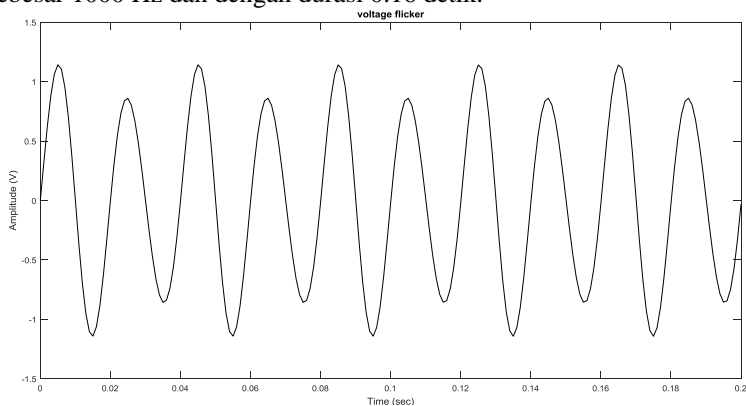
Sinyal flicker dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = (1 + A_f \sin(\beta \omega t)) \sin \omega t$$

Dengan parameter :

$A=0.2$	$\beta = 0.5$
---------	---------------

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.16 detik.



Gambar 4.18 Sinyal dengan gangguan kualitas daya flicker dengan durasi 0.2 detik

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.18 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan terjadinya kenaikan level tegangan dengan puncaknya sebesar 1.2 p.u dan penurunan level tegangan dengan puncaknya sebesar 0.8 p.u. Naik dan turunnya level tegangan terjadi secara kontinyu dan periodik dimulai pada detik ke 0 hingga detik ke 0.2.

5. Notching

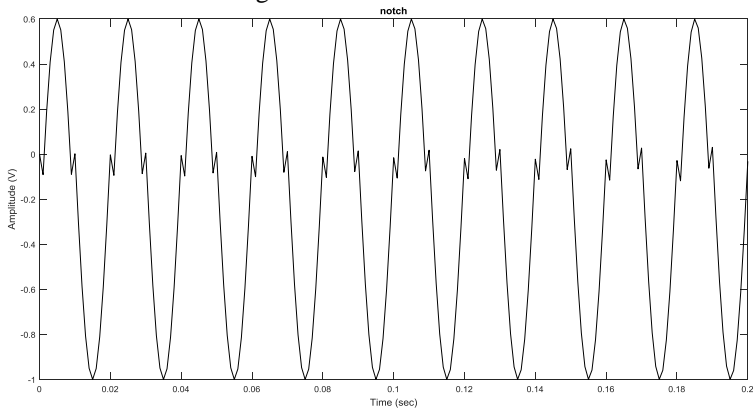
Sinyal notching dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = \sin(\omega t) - \text{sign}(\sin(\omega t)) \times \left[\sum_{n=0}^9 K \times \{u(t - (t_1 + 0.02n)) - u(t - (t_2 + 0.02n))\} \right]$$

Dengan parameter :

K=0.4	t ₁ =0.001
	t ₂ =0.01

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.2 detik.



Gambar 4.19 Sinyal dengan gangguan kualitas daya notching dengan durasi 0.2 detik

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.19 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah

dalam p.u (per unit). Pada gambar menunjukkan terjadinya. Sinyal diatas memiliki nilai puncak positif sebesar 0.6 p.u dan nilai puncak negatif sebesar -1 p.u.

6. Spike

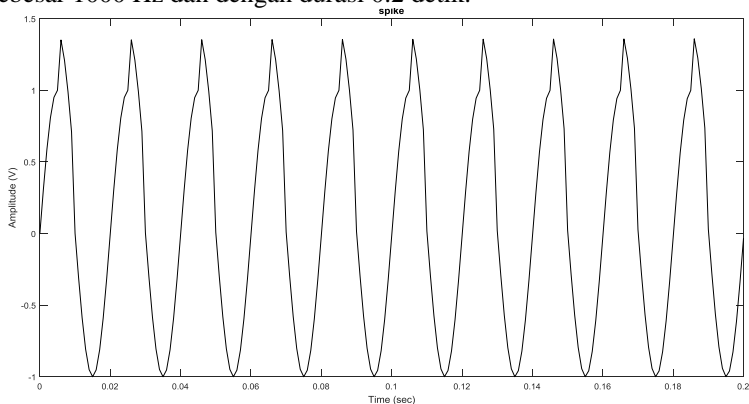
Sinyal spike dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = \sin(\omega t) + \text{sign}(\sin(\omega t)) \times \left[\sum_{n=0}^9 K \times \{u(t - (t_1 + 0.02n)) - u(t - (t_2 + 0.02n))\} \right]$$

Dengan parameter :

K=0.4	t ₁ =0.006
	t ₂ =0.01

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.2 detik.



Gambar 4.20 Sinyal dengan gangguan kualitas daya spike dengan durasi 0.2 detik

Sinyal memiliki komponen frekuensi fundamental sebesar 50 Hz. Pada Gambar 4.20 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Sinyal diatas memiliki nilai puncak positif sebesar 1.4 p.u dan nilai puncak negatif -1 p.u.

8. Sinusoida murni

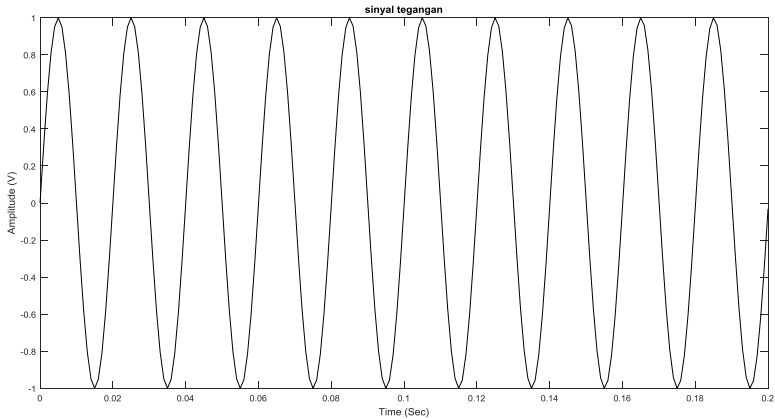
Sinyal sinusoida murni dimodelkan dengan formula :

$$V(t) = A \sin \omega t$$

Dengan parameter :

$$A = 1$$

Dimana $\omega = 2\pi f$. Sinyal dimodelkan dengan frekuensi sampling sebesar 1000 Hz dan dengan durasi 0.1 detik.



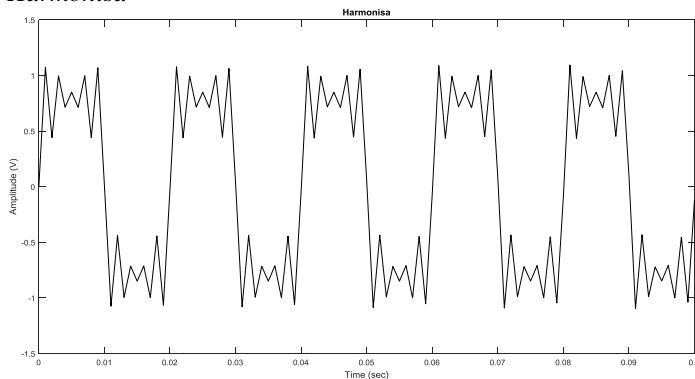
Gambar 4.21 Sinyal sinusoida murni dengan durasi 0.2 detik

Sinyal sinusoida murni yang dimodelkan memiliki frekuensi 50 Hz. Pada Gambar 4.21 terdapat sumbu X yang merupakan durasi dari sinyal tersebut dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan amplitudo dari sinyal tersebut dalam satuan volt. Satuan volt pada sumbu Y adalah dalam p.u (per unit). Sinyal diatas memiliki nilai puncak positif sebesar 1 p.u dan nilai puncak negatif -1 p.u.

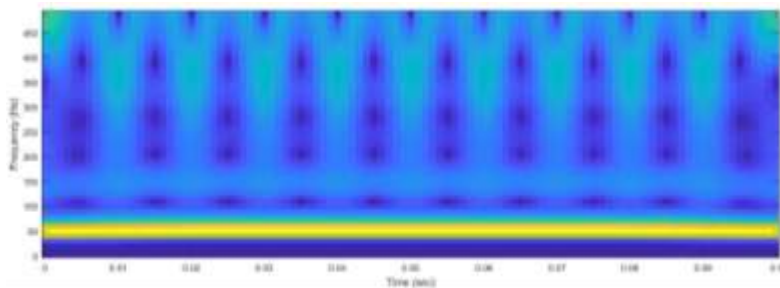
4.2 Hasil Transformasi – S

4.2.1 Durasi 0.1 detik

1. Harmonisa



(a)



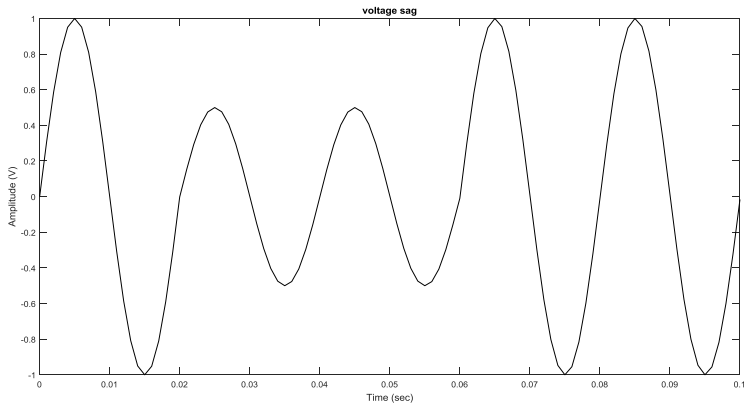
(b)

Gambar 4.22 (a) merupakan sinyal harmonisa, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal harmonisa

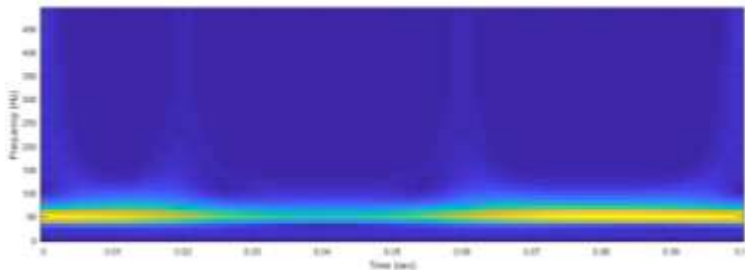
Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal harmonisa pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal harmonisa yaitu frekuensi 50 Hz. Selanjutnya diikuti oleh frekuensi harmonisa 150 Hz, 250 Hz, dan 450 Hz terlihat pada hasil transformasi-

S berupa garis lurus dengan magnitude berbeda-beda. Frekuensi magnitude terbesar ditunjukkan pada frekuensi 150 Hz.

2. *Sag*



(a)



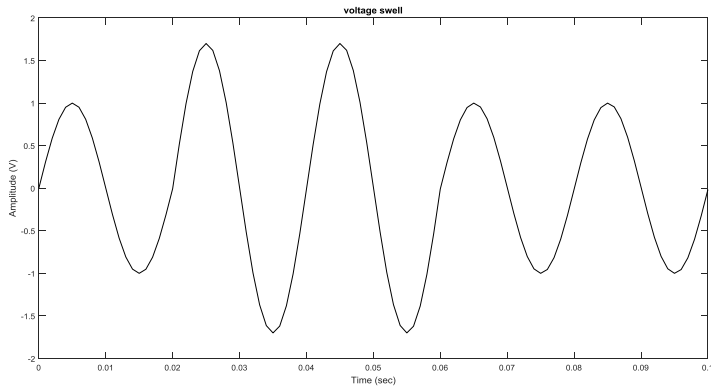
(b)

Gambar 4.23 (a) merupakan sinyal sag, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal sag

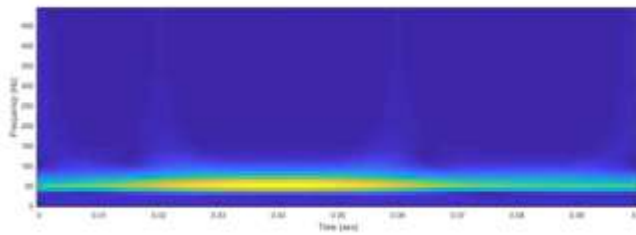
Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal sag pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal sag yaitu frekuensi 50 Hz. Pada gambar (a) dapat dilihat sag terjadi pada detik ke 0.02 hingga detik ke 0.06, sag terjadi selama 0.04 detik. Gambar (b)

menunjukkan magnitude frekuensi melemah dengan titik dan durasi yang sama dengan gambar (a).

3. *Swell*



(a)

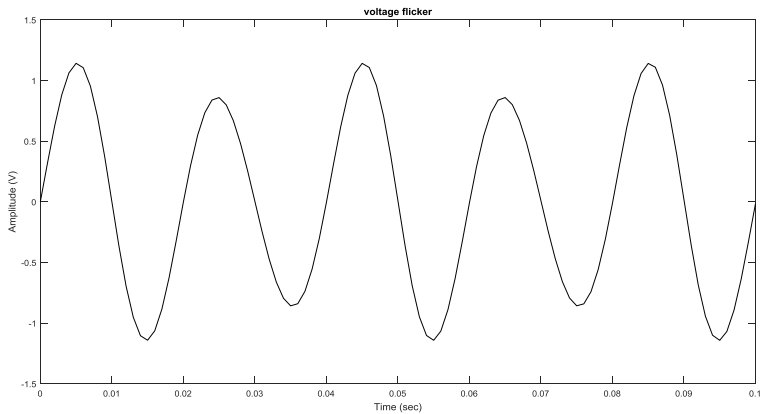


(b)

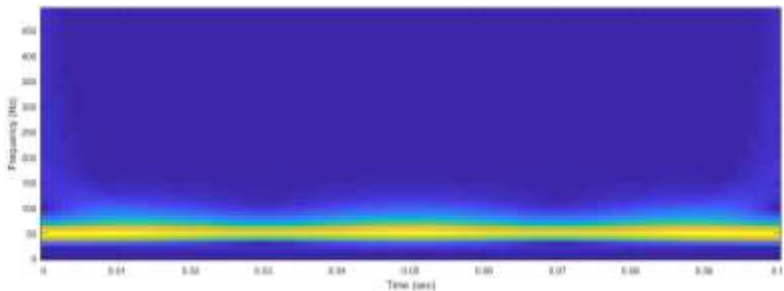
Gambar 4.24 (a) merupakan sinyal swell, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal swell

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal swell pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal sag yaitu frekuensi 50 Hz. Pada gambar (a) dapat dilihat swell terjadi pada detik ke 0.02 hingga detik ke 0.06, swell terjadi selama 0.04 detik. Gambar (b) menunjukkan magnitude dari frekuensi menguat dengan titik dan durasi yang sama pada gambar (a).

4. *Flicker*



(a)



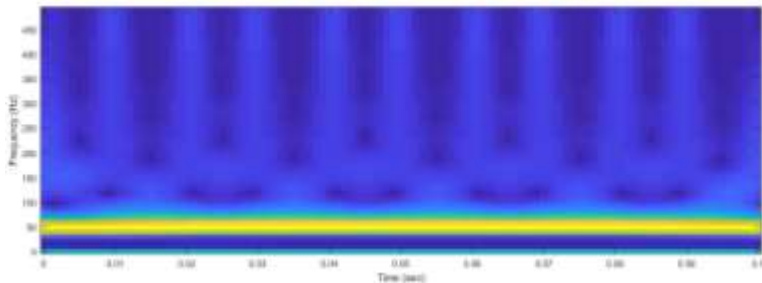
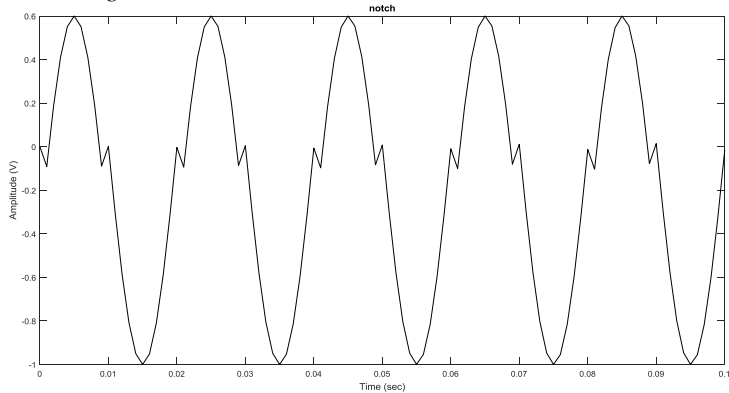
(b)

Gambar 4.25 (a) merupakan sinyal flicker, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal flicker

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal flicker pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal flicker yaitu frekuensi 50 Hz. Gambar (a) menunjukkan terjadinya kenaikan level tegangan dengan puncaknya sebesar 1.2 p.u dan penurunan level tegangan dengan puncaknya sebesar 0.8 p.u. Naik dan turunnya level

tegangan terjadi secara kontinu dan periodik dimulai pada detik ke 0 hingga detik ke 0.1. Gambar (b) menunjukkan magnitude dari frekuensi dasar mengalami kenaikan dan penurunan secara kontinu dan periodik.

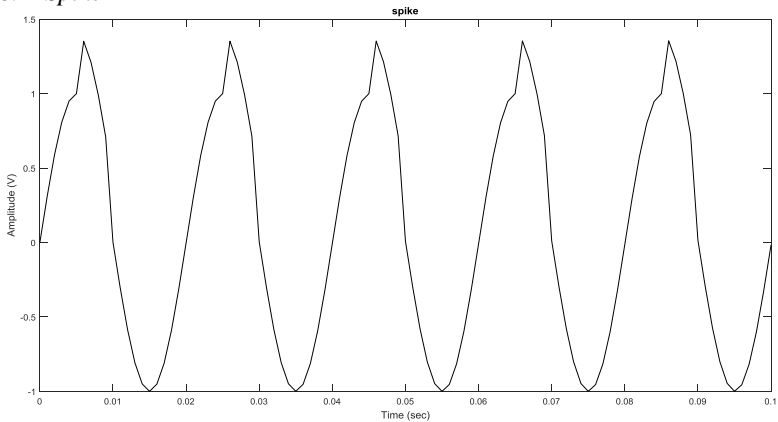
5. Notching



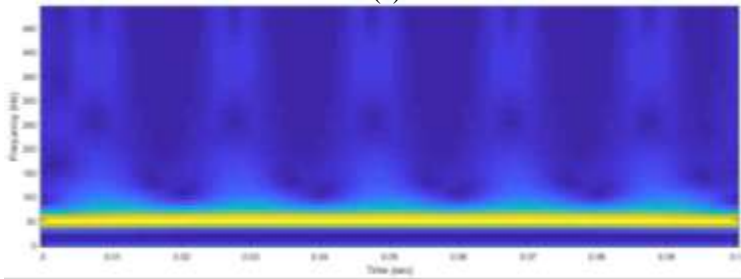
Gambar 4.26 (a) merupakan sinyal notching, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal notching

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal notching pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal notching yaitu frekuensi 50 Hz. Gambar (b) menunjukkan beberapa frekuensi penyusun sinyal notching.

6. *Spike*



(a)

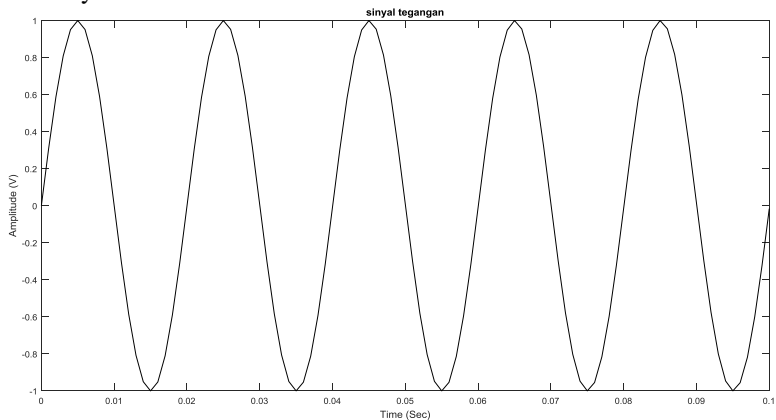


(b)

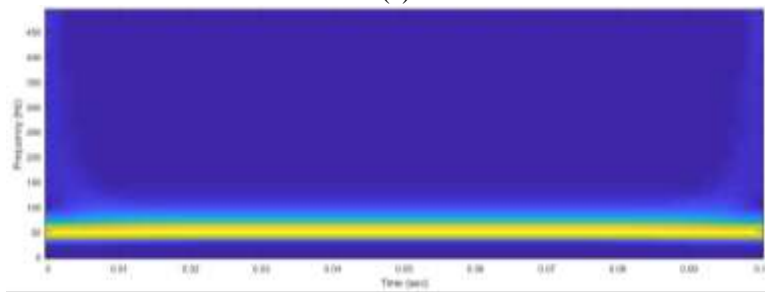
Gambar 4.27 (a) merupakan sinyal spike, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal spike

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal spike pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal spike yaitu frekuensi 50 Hz. Gambar (b) menunjukkan beberapa frekuensi penyusun sinyal spike.

7. Sinyal normal.



(a)



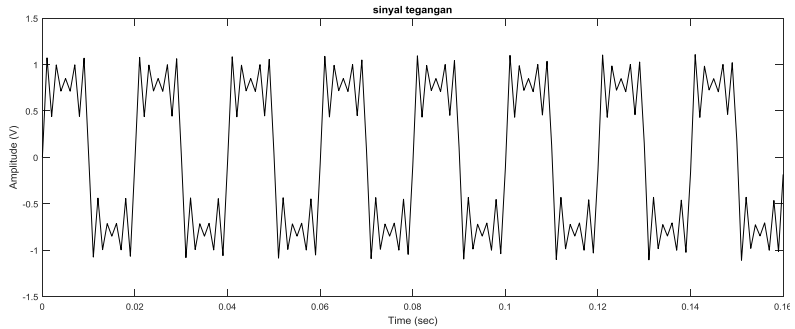
(b)

Gambar 4.28 (a) merupakan sinyal normal, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal normal

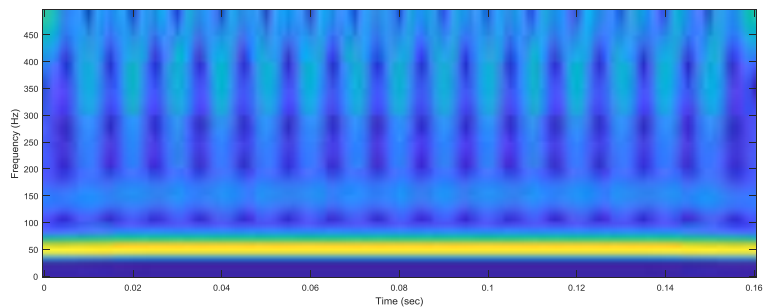
Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal normal pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal normal yaitu frekuensi 50 Hz.

4. 2. 2 Durasi 0.16 detik

1. Harmonisa



(a)

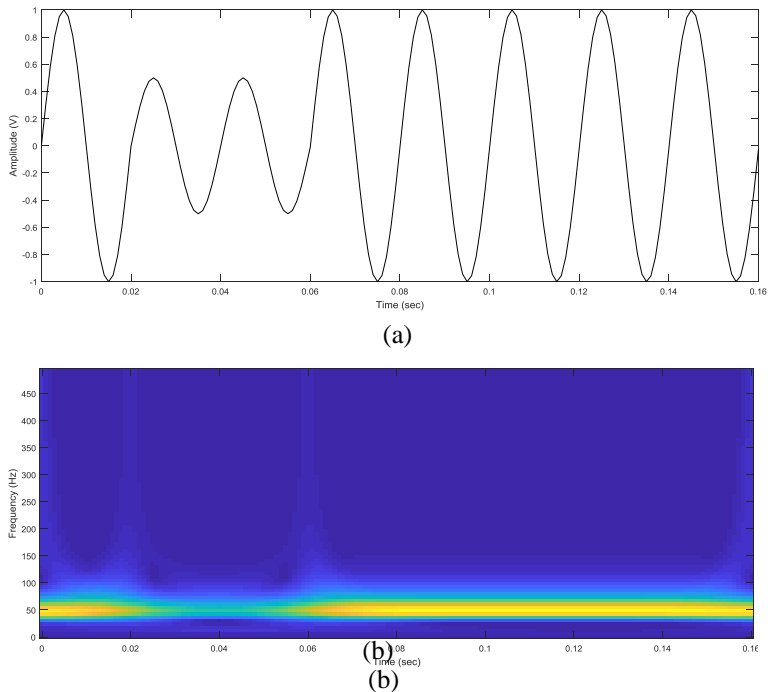


(b)

Gambar 4.29 (a) merupakan sinyal harmonisa, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal harmonisa

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal harmonisa pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal harmonisa yaitu frekuensi 50 Hz. Selanjutnya diikuti oleh frekuensi harmonisa 150 Hz, 250 Hz, dan 450 Hz terlihat pada hasil transformasi-S berupa garis lurus dengan magnitude berbeda-beda.

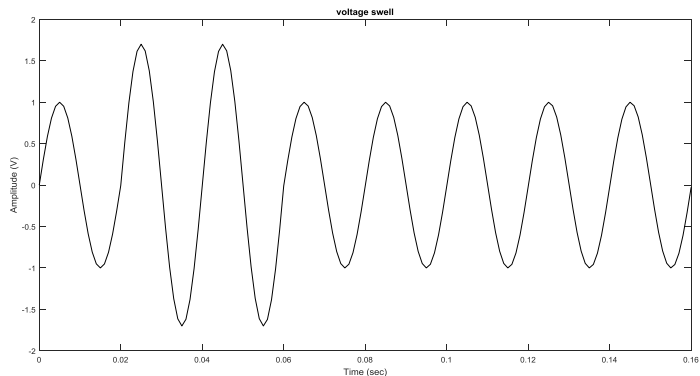
2. Sag



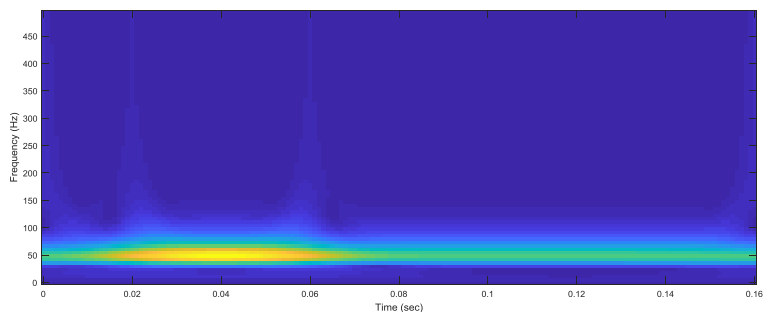
Gambar 4.30 (a) merupakan sinyal sag, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal sag

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal sag pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal sag yaitu frekuensi 50 Hz. Pada gambar (a) dapat dilihat sag terjadi pada detik ke 0.02 hingga detik ke 0.06, sag terjadi selama 0.04 detik. Gambar (b) menunjukkan magnitude frekuensi melemah dengan titik dan durasi yang sama dengan gambar (a).

3. *Swell*



(a)

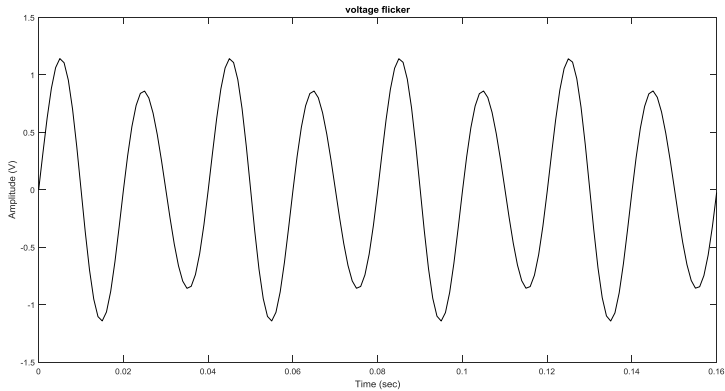


(b)

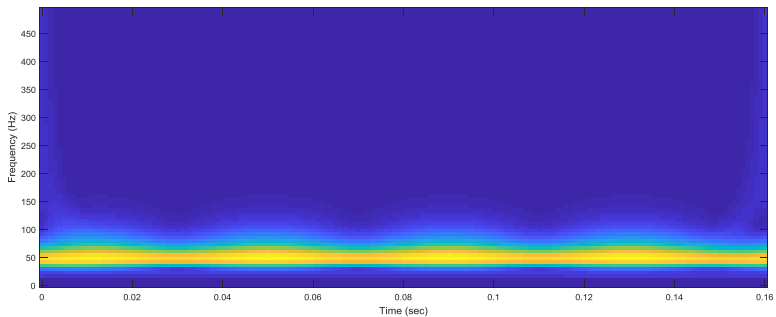
Gambar 4.31 (a) merupakan sinyal swell, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal swell

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal swell pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal sag yaitu frekuensi 50 Hz. Pada gambar (a) dapat dilihat swell terjadi pada detik ke 0.02 hingga detik ke 0.06, swell terjadi selama 0.04 detik. Gambar (b) menunjukkan magnitude dari frekuensi menguat dengan titik dan durasi yang sama pada gambar (a).

4. Flicker



(a)



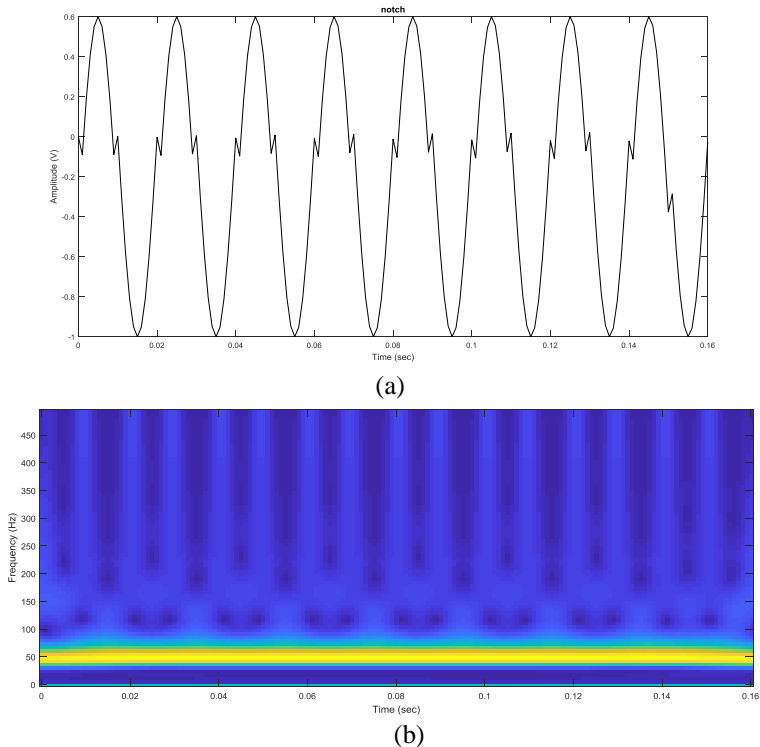
(b)

Gambar 4.32 (a) merupakan sinyal flicker, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal flicker

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal flicker pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal flicker yaitu frekuensi 50 Hz. Gambar (a) menunjukkan terjadinya kenaikan level tegangan dengan puncaknya sebesar 1.2 p.u dan penurunan level tegangan dengan puncaknya sebesar 0.8 p.u. Naik dan turunnya level

tegangan terjadi secara kontinyu dan periodik dimulai pada detik ke 0 hingga detik ke 0.1. Gambar (b) menunjukkan magnitudo dari frekuensi dasar mengalami kenaikan dan penurunan secara kontinyu dan periodik.

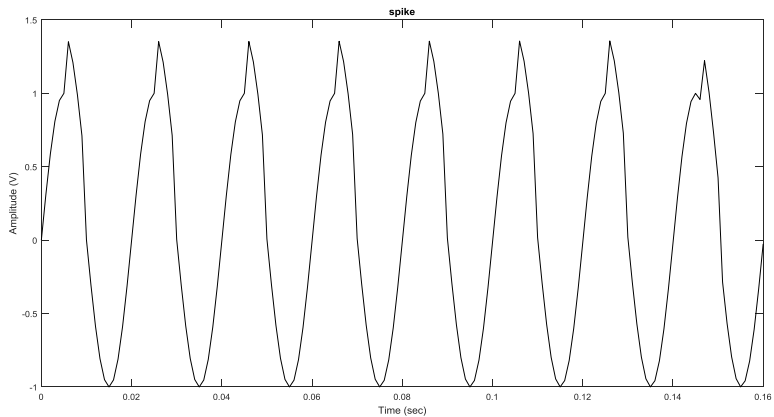
5. Notching



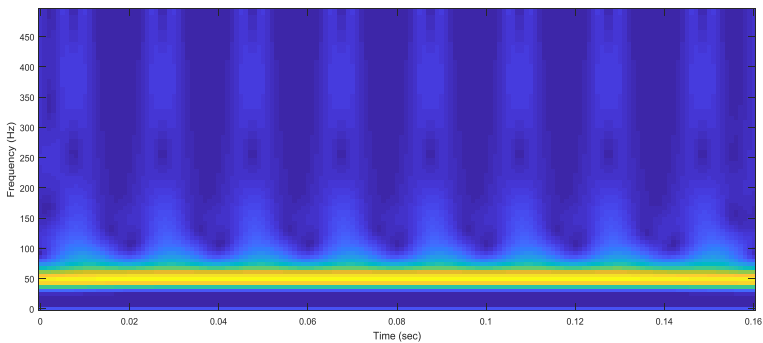
Gambar 4.33 (a) merupakan sinyal notching, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal notching

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal notching pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitudo paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal notching yaitu frekuensi 50 Hz. Gambar (b) menunjukkan beberapa frekuensi penyusun sinyal notching.

6. *Spike*



(a)

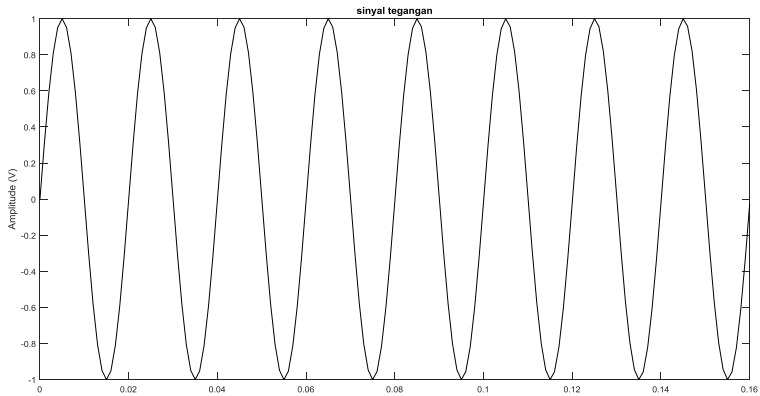


(b)

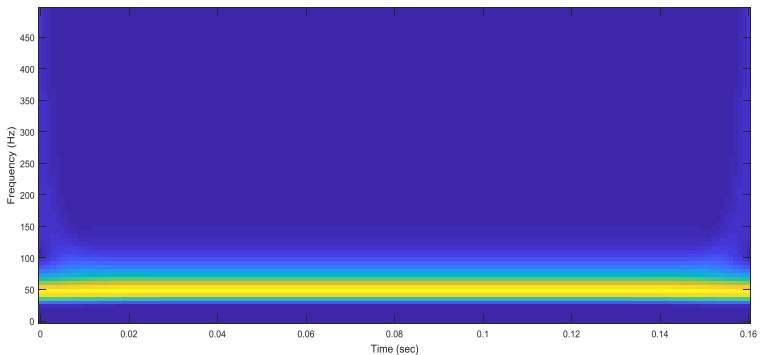
Gambar 4.34 (a) merupakan sinyal spike, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal spike

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal spike pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal spike yaitu frekuensi 50 Hz. Gambar (b) menunjukkan beberapa frekuensi penyusun sinyal spike.

7. Sinyal Normal



(a)



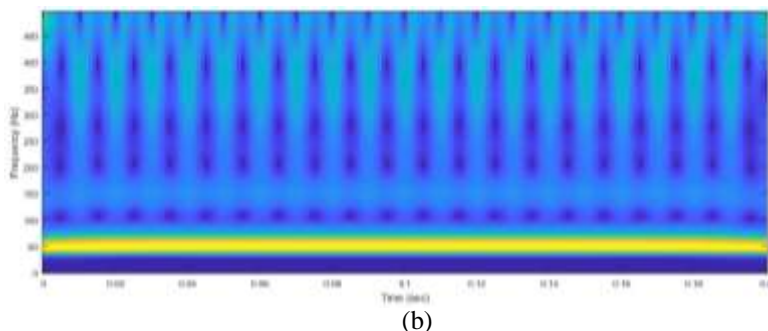
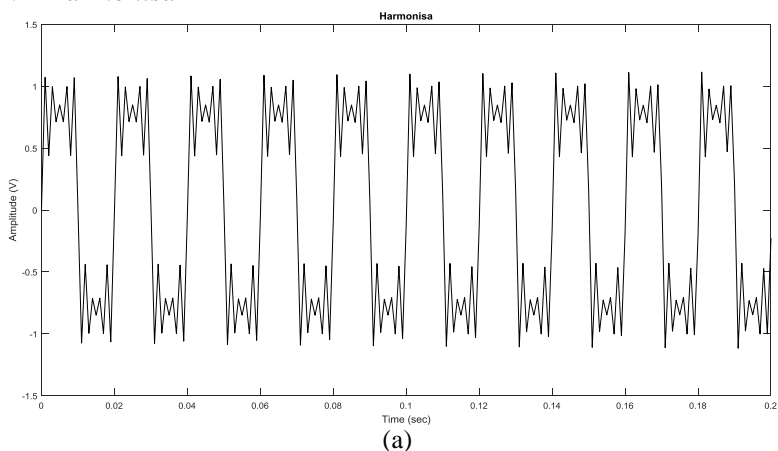
(b)

Gambar 4.35 (a) merupakan sinyal normal, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal normal

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal normal pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal normal yaitu frekuensi 50 Hz.

4. 2. 3 Durasi 0.2 detik

1. *Harmonisa*

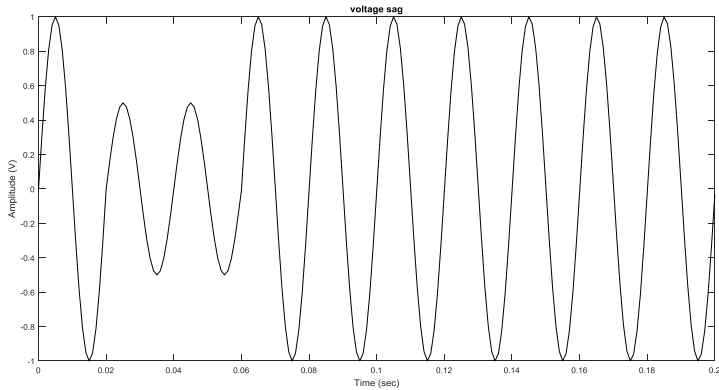


Gambar 4.36 (a) merupakan sinyal harmonisa, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal harmonisa

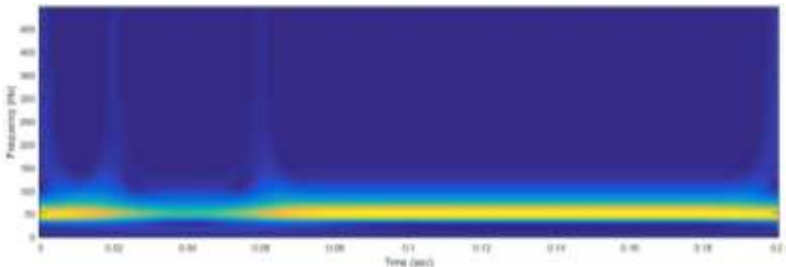
Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal harmonisa pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal harmonisa yaitu frekuensi 50 Hz. Selanjutnya diikuti oleh frekuensi harmonisa 150 Hz, 250 Hz, dan 450 Hz terlihat pada hasil transformasi-S berupa garis lurus dengan magnitude berbeda-beda. Pada hasil

transformasi-S, frekuensi harmonisa ditunjukkan dengan jejak warna yang tidak terputus.

2. Sag



(a)

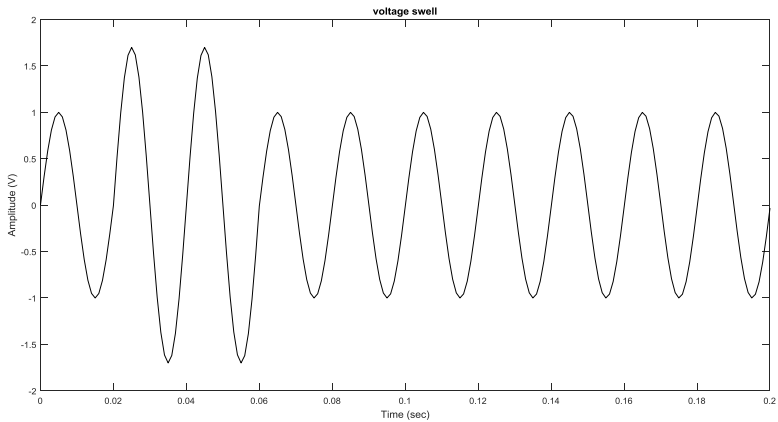


(b)

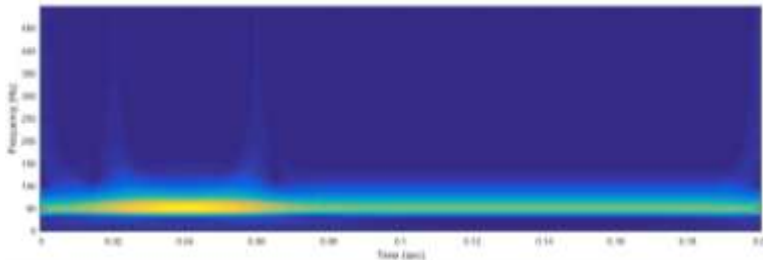
Gambar 4.37 (a) merupakan sinyal sag, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal sag

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal sag pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal sag yaitu frekuensi 50 Hz. Pada gambar (a) dapat dilihat sag terjadi pada detik ke 0.02 hingga detik ke 0.06, sag terjadi selama 0.04 detik. Gambar (b) menunjukkan magnitude frekuensi melemah dengan titik dan durasi yang sama dengan gambar (a).

3. *Swell*



(a)

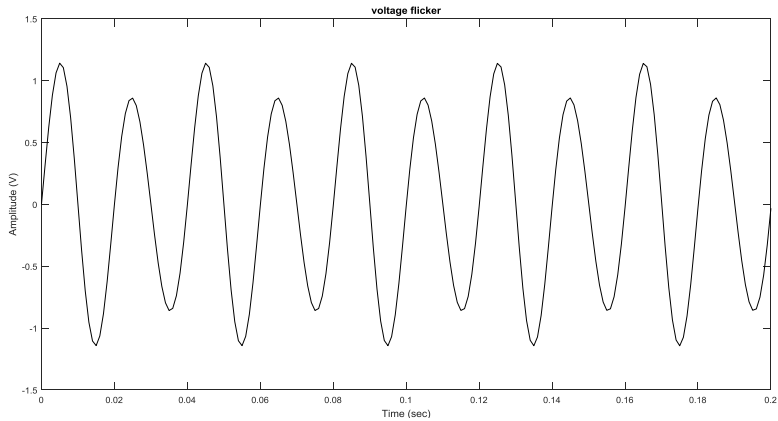


(b)

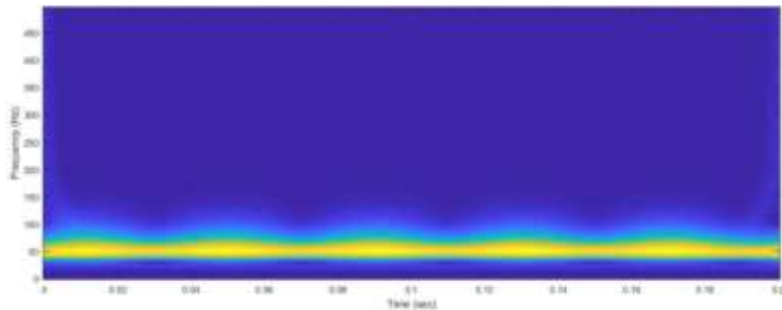
Gambar 4.38 (a) merupakan sinyal swell, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal swell

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal swell pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal sag yaitu frekuensi 50 Hz. Pada gambar (a) dapat dilihat swell terjadi pada detik ke 0.02 hingga detik ke 0.06, swell terjadi selama 0.04 detik. Gambar (b) menunjukkan magnitude dari frekuensi menguat dengan titik dan durasi yang sama pada gambar (a).

4. Flicker



(a)



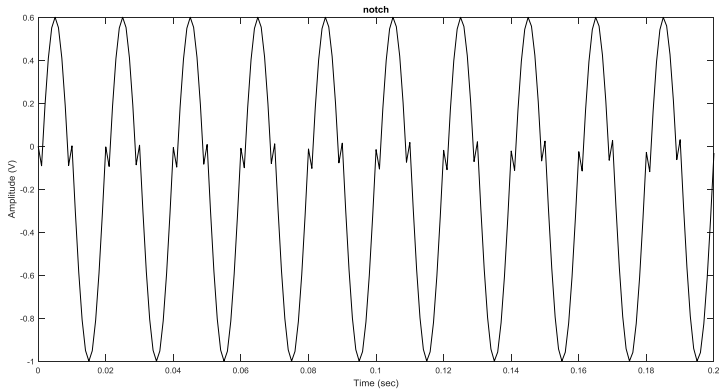
(b)

Gambar 4.39 (a) merupakan sinyal flicker, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal flicker

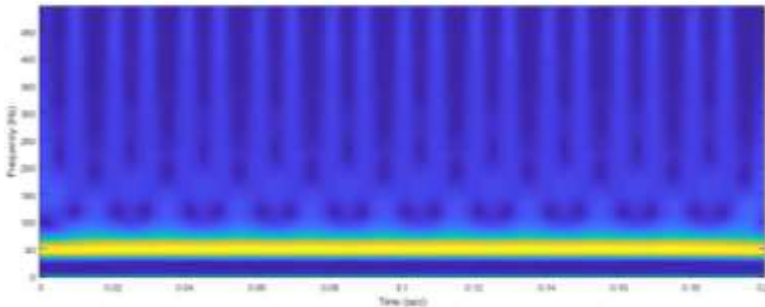
Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal flicker pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal flicker yaitu frekuensi 50 Hz. Gambar (a) menunjukkan terjadinya kenaikan level tegangan dengan puncaknya sebesar 1.2 p.u dan penurunan level tegangan dengan puncaknya sebesar 0.8 p.u. Naik dan turunnya level

tegangan terjadi secara kontinu dan periodik dimulai pada detik ke 0 hingga detik ke 0.1. Gambar (b) menunjukkan magnitude dari frekuensi dasar mengalami kenaikan dan penurunan secara kontinu dan periodik.

5. Notching



(a)



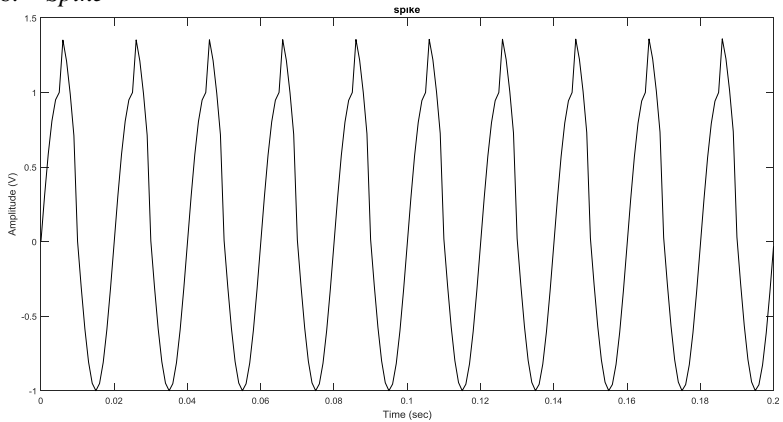
(b)

Gambar 4.40 (a) merupakan sinyal notching, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal notching

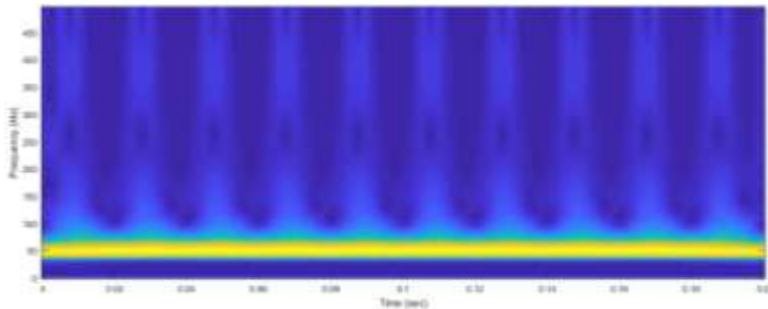
Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal notching pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal

notching yaitu frekuensi 50 Hz. Gambar (b) menunjukkan beberapa frekuensi penyusun sinyal notching.

6. Spike



(b)



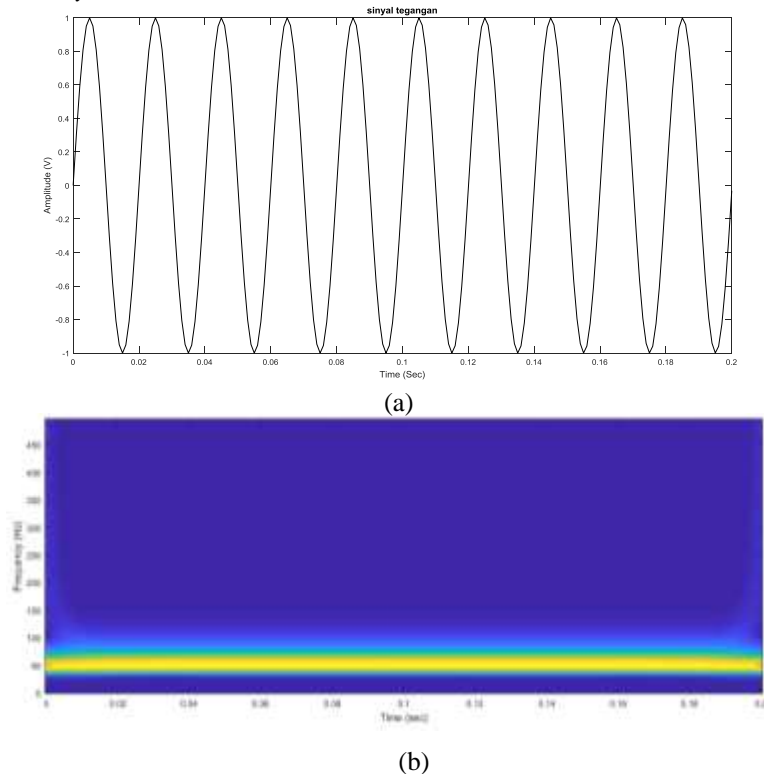
(b)

Gambar 4.41 (a) merupakan sinyal spike, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal spike

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal spike pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal spike yaitu

frekuensi 50 Hz. Gambar (b) menunjukkan beberapa frekuensi penyusun sinyal spike.

7. *Sinyal normal*



Gambar 4.42 (a) merupakan sinyal normal, (b) merupakan hasil transformasi-S dari sinyal normal

Pada gambar (b) menunjukkan frekuensi yang menyusun sinyal normal pada gambar (a) dengan sumbu X adalah waktu dalam detik dan sumbu Y adalah frekuensi dalam Hz. Warna kuning menunjukkan magnitude paling tinggi yang merupakan frekuensi dasar dari sinyal normal yaitu frekuensi 50 Hz.

4.3 Hasil Pelatihan *Artificial Neural Network* (ANN)

Sinyal-sinyal yang telah melalui tahap S-transform, selanjutnya menjadi input untuk pelatihan ANN dengan menggunakan metode pelatihan Levenberg-Marquardt. Sinyal yang dimodelkan dipaparkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Sinyal yang dimodelkan

No.	Sinyal	Durasi	Identitas
1	Harmonisa	0.1 detik 0.16 detik 0.2 detik	1
2	Sag	0.1 detik 0.16 detik 0.2 detik	2
3	Swell	0.1 detik 0.16 detik 0.2 detik	3
4	Flicker	0.1 detik 0.16 detik 0.2 detik	4
5	Notching	0.1 detik 0.16 detik 0.2 detik	5
6	Spike	0.1 detik 0.16 detik 0.2 detik	6
7	Sinusoida murni 50 Hz	0.1 detik 0.16 detik 0.2 detik	7

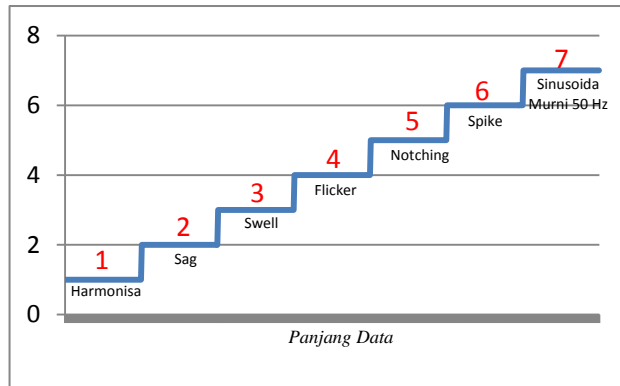
Hasil dari S-transform adalah berupa matriks. Matriks tersebut berisi hasil ekstraksi ketujuh sinyal yang dipaparkan pada Tabel 6. Selanjutnya, hasil ekstraksi masing-masing sinyal dikelompokkan dan diberi identitas dengan menggunakan angka 1 sampai 7 seperti yang telah dipaparkan di Tabel 6.

Pada Gambar 4.43 menunjukkan pengelompokan data hasil ekstraksi dengan identitasnya yang kemudian disebut sebagai “Data Aktual”, yang selanjutnya akan digunakan untuk dibandingkan dengan hasil pelatihan ANN yang kemudian disebut sebagai “Neural Network”. Metode

pelatihan ANN menggunakan metode Levenberg-Marquardt dengan 2 hidden layer dan 1 output layer. Pelatihan ANN dilakukan dengan parameter epochs yaitu 50 epochs, 100 epochs, dan 150 epochs. Sedangkan parameter jumlah neuron yaitu [5 5 1] dan [10 10 1]. Cara pembacaan jumlah neuron yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

[Layer 1 Layer 2 Layer 3]

Parameter epochs dan jumlah neuron ini digunakan pada semua data. Setelah melakukan pelatihan ANN dengan parameter seperti yang telah dicantumkan di Tabel 6, maka dihasilkan data-data yang akan di paparkan pada sub subbab berikut.

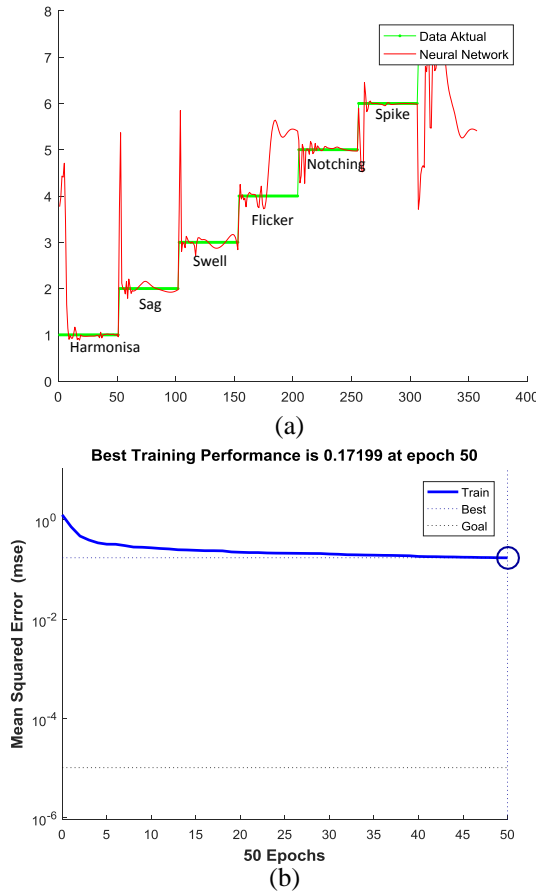


Gambar 4.43 Pengelompokan data hasil ekstraksi S-transform

4.3.1 Durasi sinyal 0.1 detik

1. 50 epochs dengan jumlah neuron [5 5 1]

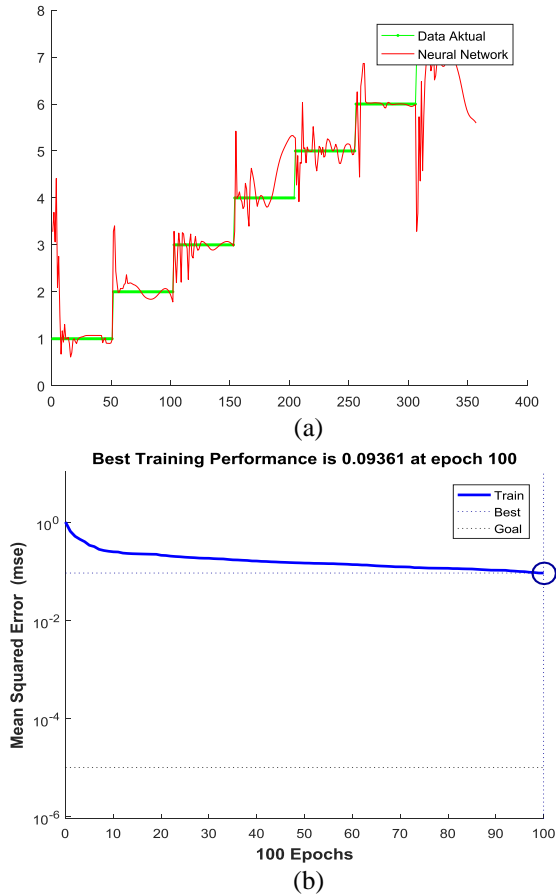
Hasil pelatihan dengan 50 epochs dan jumlah neuron [5 5 1] ditunjukkan pada Gambar 4.44 dengan *Mean Squared Error* (MSE) sebesar 0.172 pada 50 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 357 x 101



Gambar 4.44 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 50 *epochs* dan jumlah neuron [5 5 1]

2. 100 epochs dengan jumlah neuron [5 5 1]

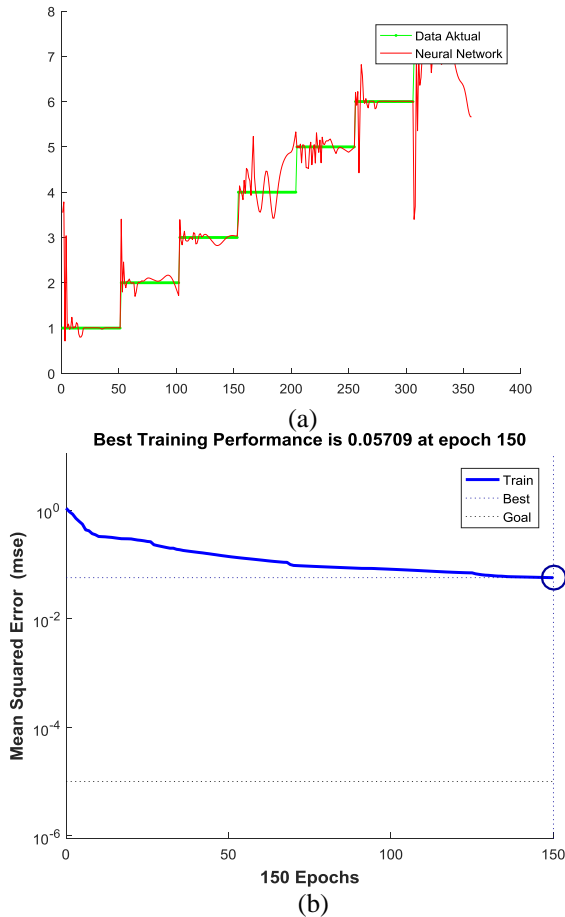
Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.45 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0936 pada 100 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 357 x 101



Gambar 4.45 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 100 *epochs* dan jumlah neuron [5 5 1]

3. 150 epochs dengan jumlah neuron [5 5 1]

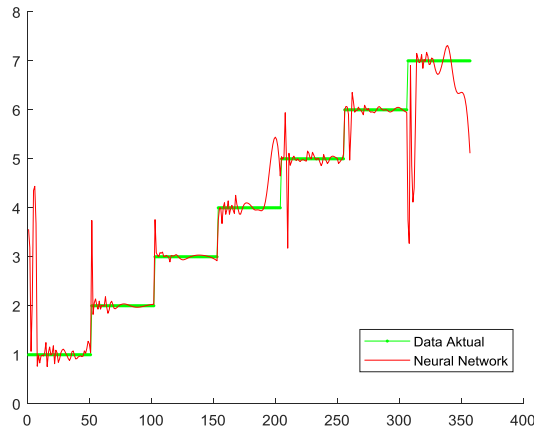
Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.46 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0571 pada 150 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 357 x 101



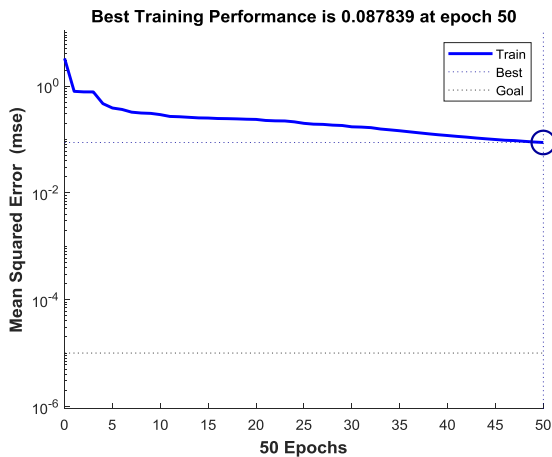
Gambar 4.46 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 150 *epochs* dan jumlah neuron [5 5 1]

4. 50 epochs dengan jumlah neuron [10 10 1]

Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.47 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0878 pada 150 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 357 x 101



(a)

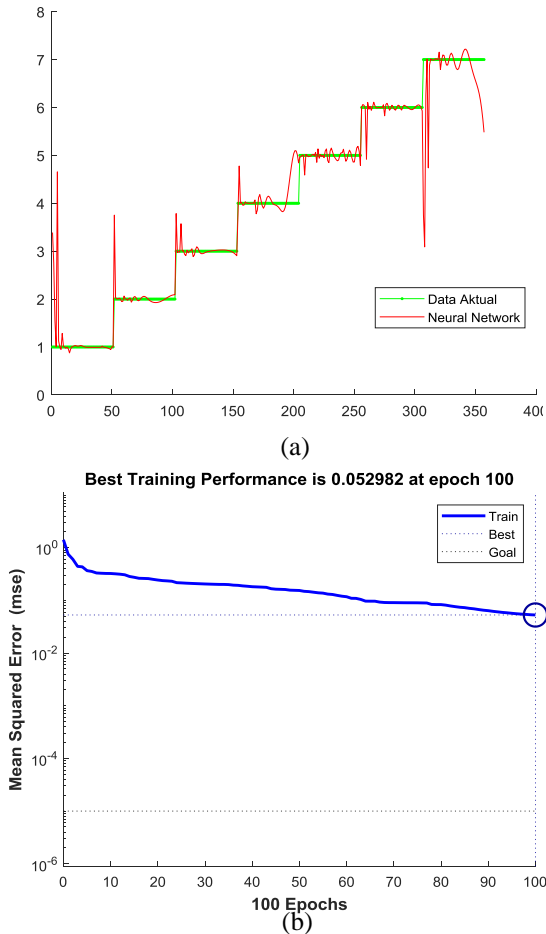


(b)

Gambar 4.47 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 50 *epochs* dan jumlah neuron [10 10 1]

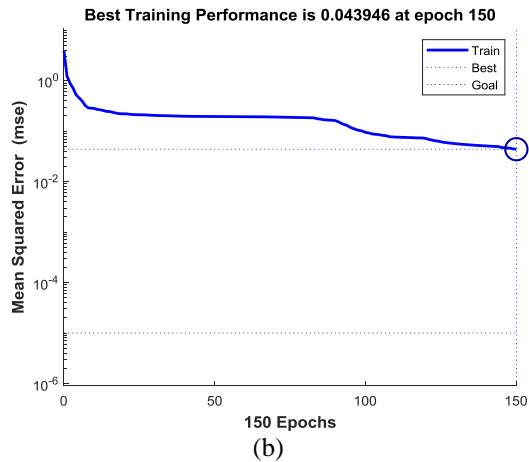
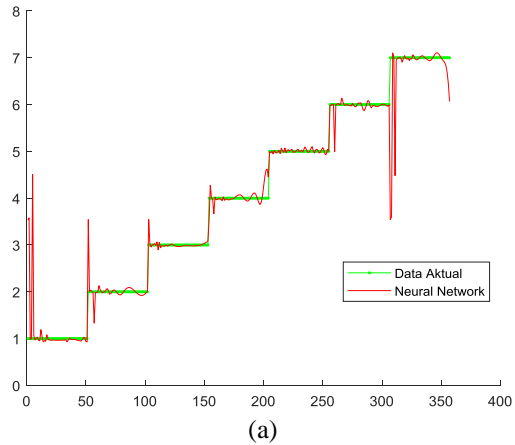
5. 100 epochs dengan jumlah neuron [10 10 1]

Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.48 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0529 pada 100 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 357 x 101



Gambar 4.48 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 100 *epochs* dan jumlah neuron [10 10 1]

6. 150 epochs dengan jumlah neuron [10 10 1]
 Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.49 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0439 pada 150 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 357 x 101



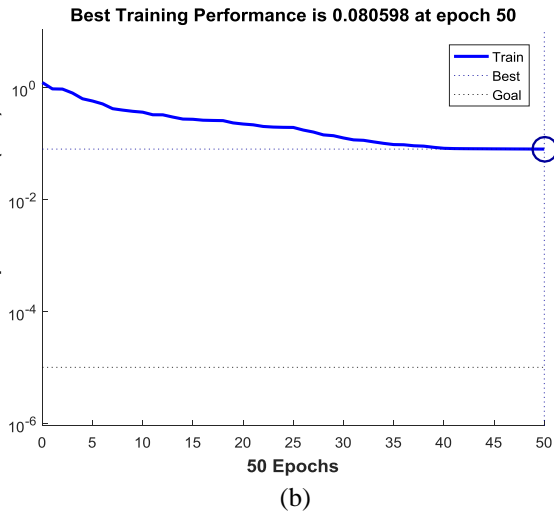
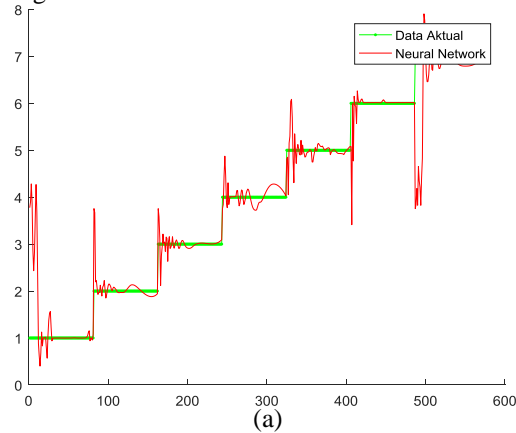
Gambar 4.49 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 150 *epochs* dan jumlah neuron [10 10 1]

4.3.2 Durasi sinyal 0.16 detik

1. 50 *epochs* dengan jumlah neuron [5 5 1]

Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.50 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0806 pada 50 *epochs*. Pada (a) menunjukkan

perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 567×161

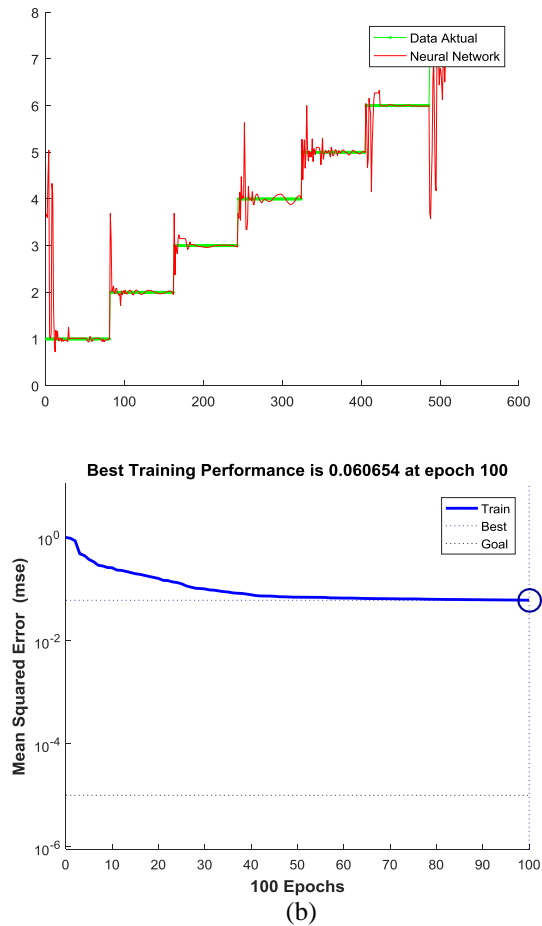


Gambar 4.50 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.1 detik dengan 150 *epochs* dan jumlah neuron [10 10 1]

2. 100 epochs dengan jumlah neuron [5 5 1]

Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.51 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0607 pada 100 epochs. Pada (a) menunjukkan

perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 567×161 .

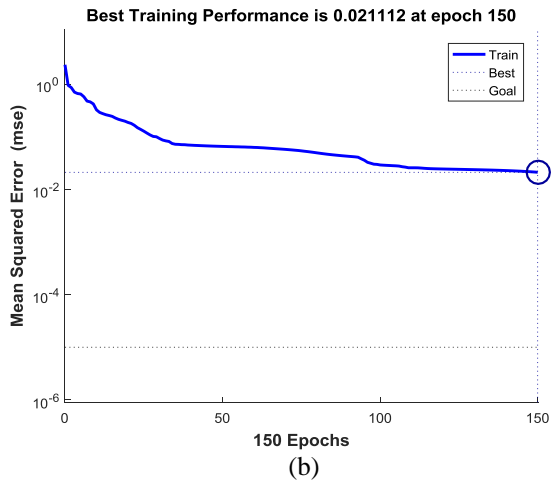
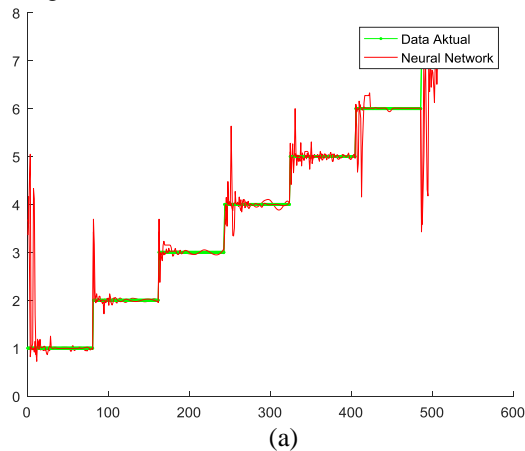


Gambar 4.51 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.16 detik dengan 100 *epochs* dan jumlah neuron [5 5 1]

3. 150 epochs dengan jumlah neuron [5 5 1]

Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.52 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0211 pada 150 epochs. Pada (a) menunjukkan

perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 567×161 .

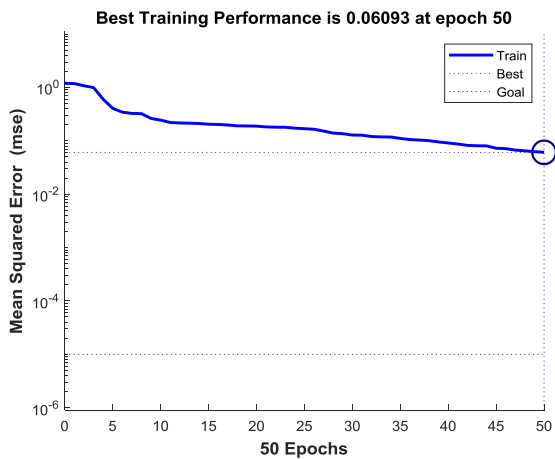
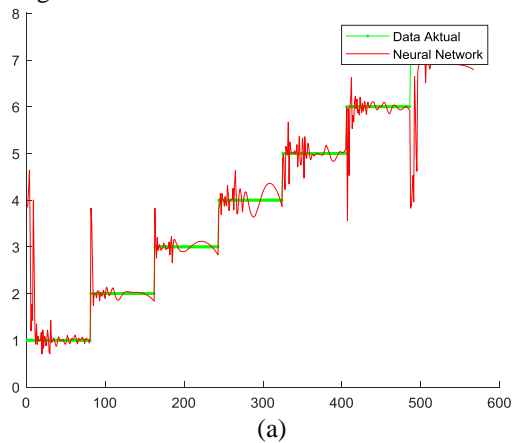


Gambar 4.52 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.16 detik dengan 150 *epochs* dan jumlah neuron [5 5 1]

4. 50 epochs dengan jumlah neuron [10 10 1]

Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.53 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0609 pada 50 epochs. Pada (a) menunjukkan

perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 567×161 .

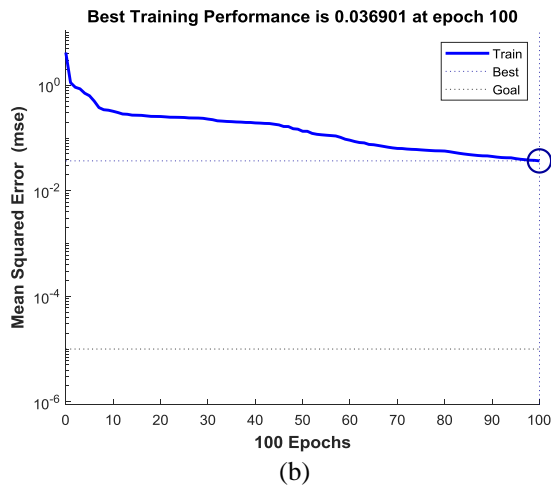
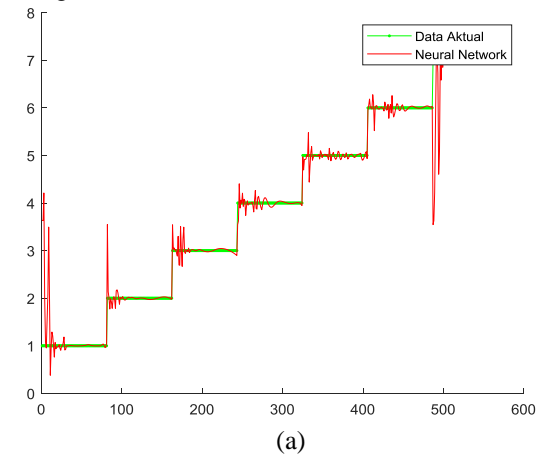


Gambar 4.53 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.16 detik dengan 50 *epochs* dan jumlah neuron [10 10 1]

5. 100 epochs dengan jumlah neuron [10 10 1]

Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.54 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0369 pada 100 epochs. Pada (a) menunjukkan

perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 567×161 .

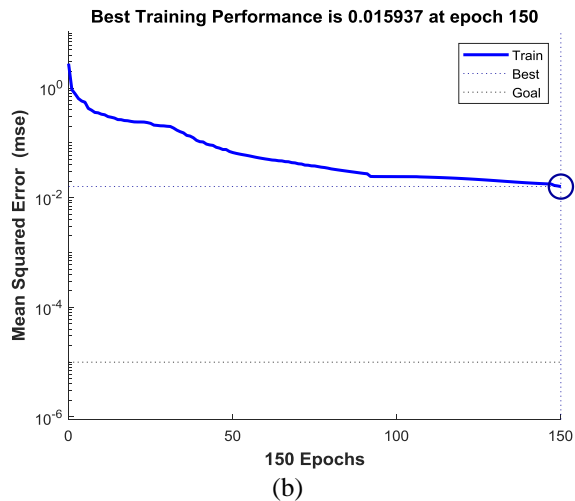
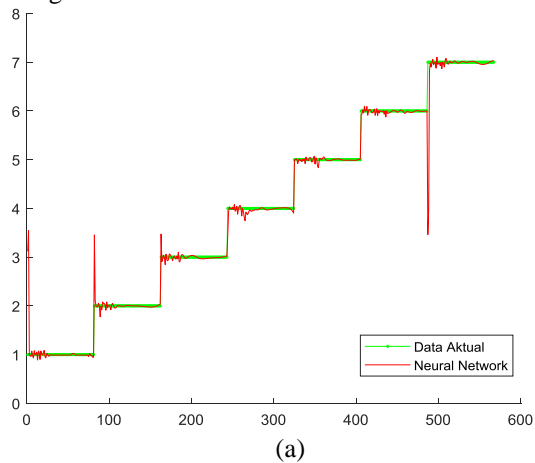


Gambar 4.54 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.16 detik dengan 100 *epochs* dan jumlah neuron [10 10 1]

6. 150 epochs dengan jumlah neuron [10 10 1]

Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.55 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0159 pada 100 epochs. Pada (a) menunjukkan

perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 567×161 .

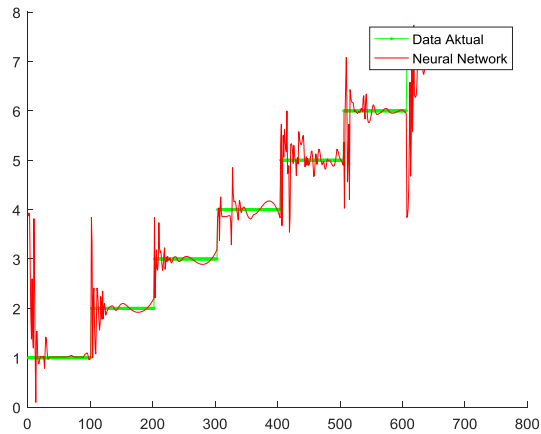


Gambar 4.55 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.16 detik dengan 150 *epochs* dan jumlah neuron [10 10 1]

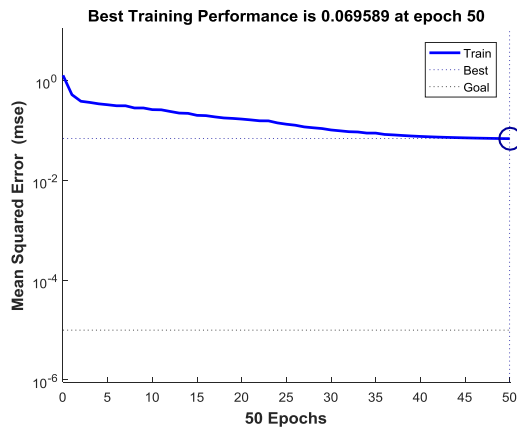
4.3.3 Durasi sinyal 0.2 detik

1. 50 epochs dengan jumlah neuron [5 5 1]

Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.56 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0696 pada 50 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 707 x 201.



(a)

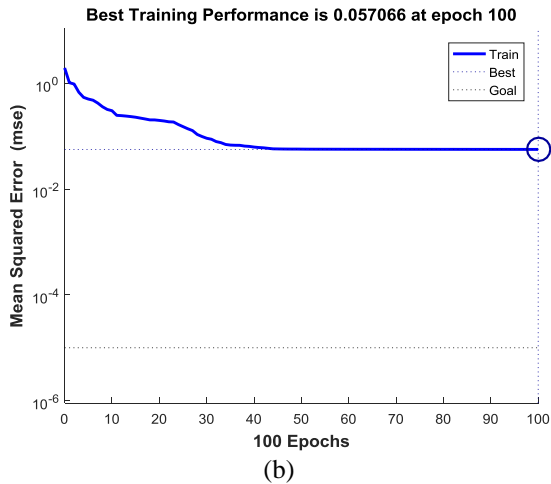
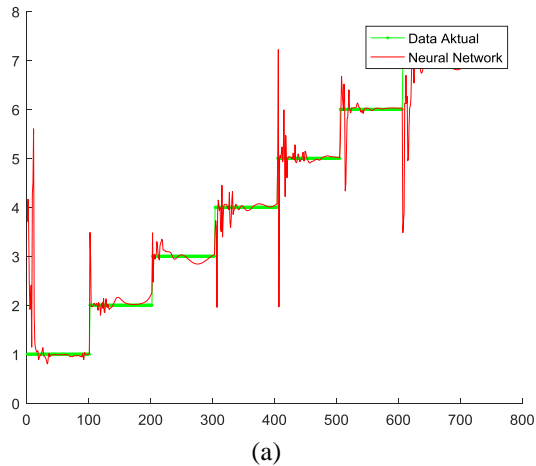


(b)

Gambar 4.56 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 50 epochs dan jumlah neuron [5 5 1]

2. 100 epochs dengan jumlah neuron [5 5 1]

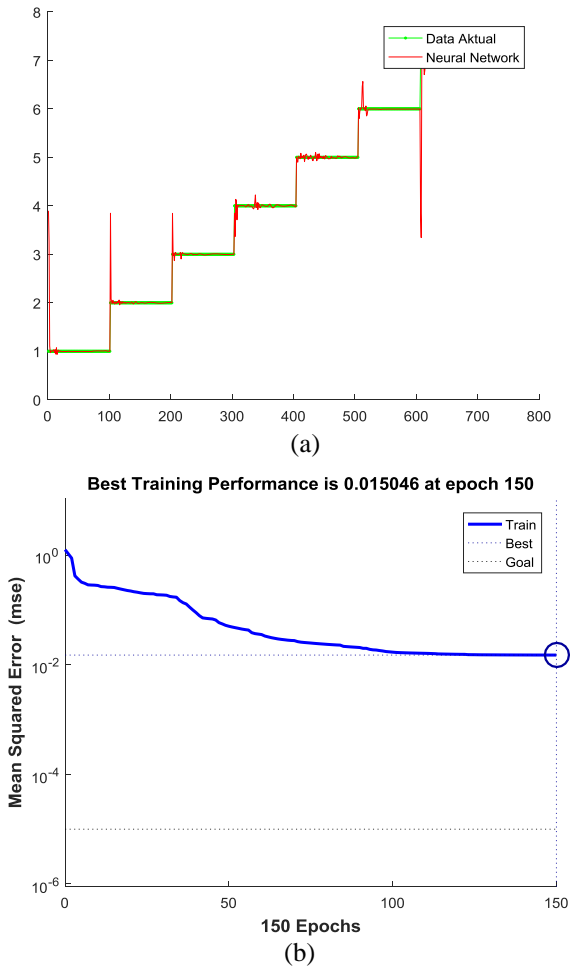
Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.57 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0571 pada 100 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 707 x 201.



Gambar 4.57 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 100 *epochs* dan jumlah neuron [5 5 1]

3. 150 epochs dengan jumlah neuron [5 5 1]

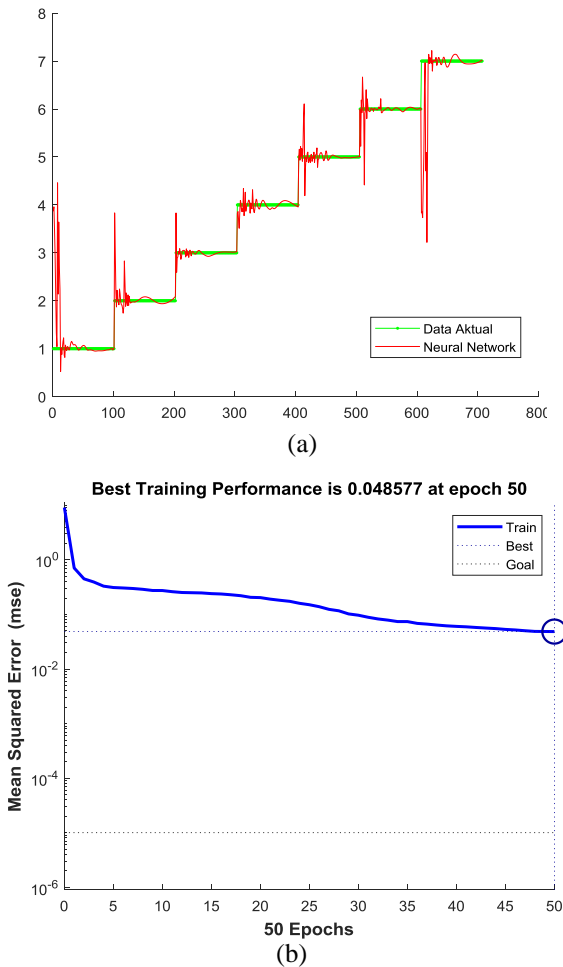
Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.58 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0150 pada 150 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 707 x 201.



Gambar 4.58 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 150 *epochs* dan jumlah neuron [5 5 1]

4. 50 epochs dengan jumlah neuron [10 10 1]

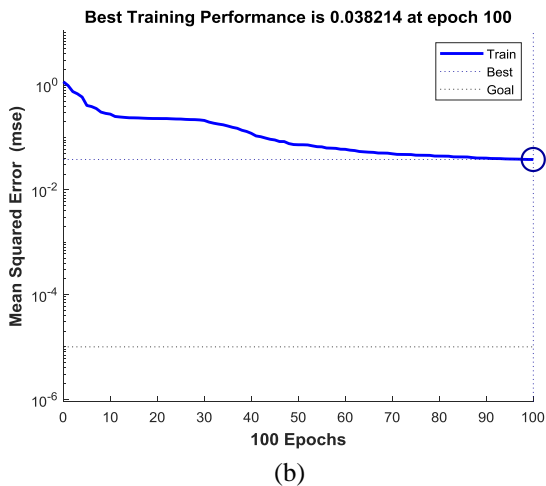
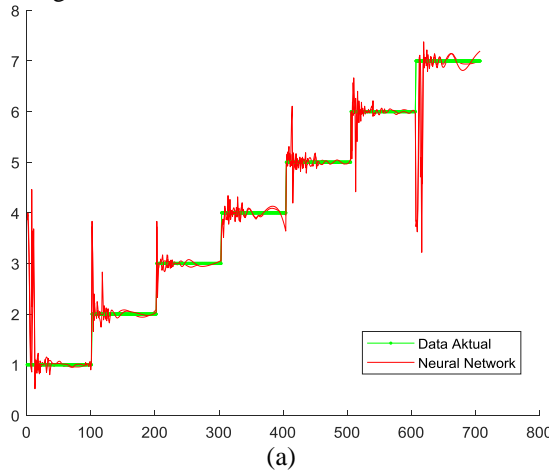
Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.59 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0486 pada 50 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 707 x 201.



Gambar 4.59 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 50 *epochs* dan jumlah neuron [10 10 1]

5. 100 epochs dengan jumlah neuron [10 10 1]

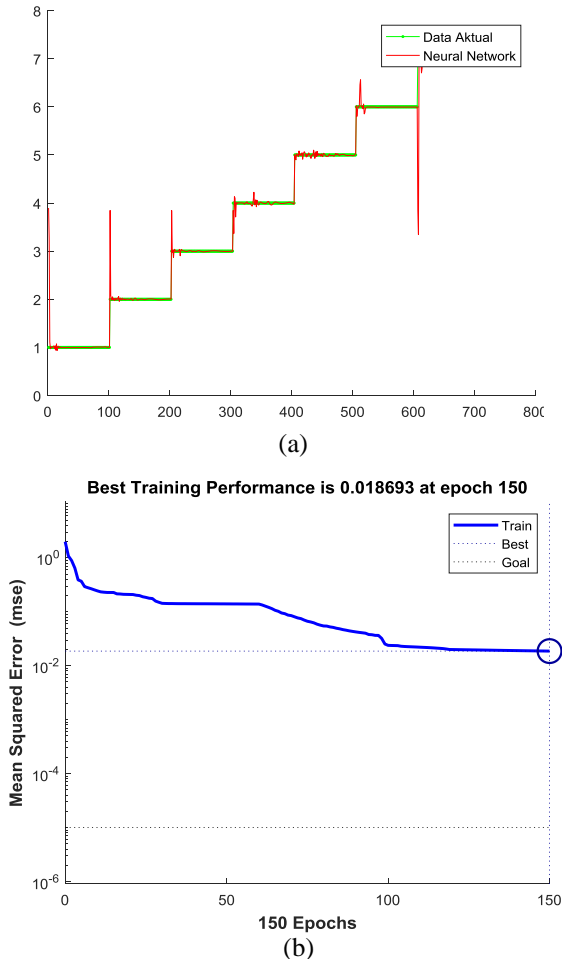
Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.60 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0382 pada 100 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 707 x 201.



Gambar 4.60 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 50 *epochs* dan jumlah neuron [10 10 1]

6. 150 epochs dengan jumlah neuron [10 10 1]

Hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 4.61 dengan Mean Squared Error (MSE) sebesar 0.0187 pada 100 epochs. Pada (a) menunjukkan perbandingan antara data aktual dan hasil pelatihan. Input dari ANN adalah data dengan ukuran matriks 707 x 201.



Gambar 4.61 Hasil pelatihan ANN dengan input data sinyal 0.2 detik dengan 50 epochs dan jumlah neuron [10 10 1]

Tabel 5 Hasil pelatihan ANN (Mean Squared Error)

50 epochs		
Durasi Sinyal	Jumlah Neuron	
	[5 5 1]	[10 10 1]
0.1 s	0.172	0.0878
0.16 s	0.0806	0.0609
0.2 s	0.0696	0.0486
100 epochs		
Durasi Sinyal	Jumlah Neuron	
	[5 5 1]	[10 10 1]
0.1 s	0.0936	0.0529
0.16 s	0.0607	0.0369
0.2 s	0.0571	0.0382
150 epochs		
Durasi Sinyal	Jumlah Neuron	
	[5 5 1]	[10 10 1]
0.1 s	0.0571	0.0439
0.16 s	0.0211	0.0159
0.2 s	0.0150	0.0147
Catatan : Cara membaca konfigurasi neuron [<i>Hidden Layer 1</i> <i>Hidden Layer 2</i> <i>Output Layer</i>]		

Dari hasil pelatihan ANN yang telah dilakukan, dapat diketahui pengaruh dari jumlah *epochs* atau iterasi dan jumlah neuron terhadap hasil pelatihan. Data pada Tabel 6 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya jumlah iterasi dan jumlah neuron menghasilkan error yang semakin kecil dalam mengenali sinyal-sinyal dengan gangguan kualitas daya tersebut.

4.4 Hasil Pengujian ANN dengan menggunakan Back Propagation Neural Network (BPNN)

Setelah dilakukannya pelatihan ANN, dilakukan pengujian dengan menggunakan *Back Propagation Neural Network* untuk mengetahui kualitas dari ANN yang telah dilatih.

4.4.1 Hasil Testing dengan Variasi Durasi Sinyal

Tabel 6 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1]

0.1 DETIK 50 EPOCHS [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.97	0.03	Harmonisa
2	2.025	0.0125	Sag
3	2.996	0.001333	Swell
4	4.04	0.01	Notching
5	5.055	0.011	Flicker
6	6.051	0.0085	Spike
7	6.908	0.013143	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.012354

Tabel 7 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1]

0.16 detik 50 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.94	0.06	Harmonisa
2	2.026	0.013	Sag
3	2.907	0.031	Swell
4	3.865	0.03375	Notching
5	4.929	0.0142	Flicker
6	6.015	0.0025	Spike

Aktual	Forecast	Error	Keterangan
7	6.895	0.015	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.024207

Tabel 8 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1]

0.2 detik 50 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.052	0.052	Harmonisa
2	1.94	0.03	Sag
3	2.971	0.009667	Swell
4	4.124	0.031	Notching
5	5.044	0.0088	Flicker
6	6.002	0.000333	Spike
7	6.97	0.004286	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.019441

Hasil testing dengan menggunakan variasi durasi sinyal ditunjukkan pada Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8. Variasi durasi sinyalnya yaitu 0.1 detik, 0.16 detik, dan 0.2 detik dengan jumlah epochs dan jumlah neuron sama. Pada Tabel 6 ditunjukkan error terkecil terjadi pada pengenalan sag sebesar 0.001333. Pada Tabel 7 ditunjukkan error terkecil terdapat pada pengenalan spike dengan nilai error sebesar 0.0025. Pada Tabel 8 ditunjukkan error terkecil terdapat pada pengenalan spike dengan nilai error sebesar 0.00033. Dari ketiga variasi durasi sinyal menunjukkan error rata-rata terkecil terdapat pada durasi sinyal 0.1 detik pada Tabel 6.

4.4.2 Hasil Testing dengan Variasi Jumlah Epochs

Tabel 9 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1]

0.1 DETIK 50 EPOCHS [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.97	0.03	Harmonisa
2	2.025	0.0125	Sag
3	2.996	0.001333	Swell
4	4.04	0.01	Notching
5	5.055	0.011	Flicker
6	6.051	0.0085	Spike
7	6.908	0.013143	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.012354

Tabel 10 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1]

0.1 DETIK 100 EPOCHS [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9	0.1	Harmonisa
2	1.904	0.048	Sag
3	3.071	0.023667	Swell
4	4.191	0.04775	Notching
5	5.001	0.0002	Flicker
6	6.026	0.004333	Spike
7	6.87	0.018571	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.034646

Tabel 11 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1]

0.1 DETIK 150 EPOCHS [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.006	0.006	Harmonisa
2	2.066	0.033	Sag
3	3.06	0.02	Swell
4	3.873	0.03175	Notching
5	5.156	0.0312	Flicker
6	6.008	0.001333	Spike
7	7.258	0.036857	Sinusoida Murni
Error ata-rata			0.022877

Tabel 12 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1]

0.16 detik 50 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.94	0.06	Harmonisa
2	2.026	0.013	Sag
3	2.907	0.031	Swell
4	3.865	0.03375	Notching
5	4.929	0.0142	Flicker
6	6.015	0.0025	Spike
7	6.895	0.015	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.024207

Tabel 13 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1]

0.16 detik 100 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9439	0.0561	Harmonisa
2	2.009	0.0045	Sag
3	2.984	0.005333	Swell
4	4.069	0.01725	Notching
5	4.965	0.007	Flicker
6	5.994	0.001	Spike
7	6.974	0.003714	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.013557

Tabel 14 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1]

0.16 detik 150 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9979	0.0021	Harmonisa
2	2.014	0.007	Sag
3	2.991	0.003	Swell
4	3.999	0.00025	Notching
5	5.028	0.0056	Flicker
6	6.009	0.0015	Spike
7	6.976	0.003429	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.003268

Tabel 15 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1]

0.2 detik 50 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.052	0.052	Harmonisa
2	1.94	0.03	Sag
3	2.971	0.009667	Swell
4	4.124	0.031	Notching
5	5.044	0.0088	Flicker
6	6.002	0.000333	Spike
7	6.97	0.004286	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.019441

Tabel 16 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1]

0.2 detik 100 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.001	0.001	Harmonisa
2	2.067	0.0335	Sag
3	3.015	0.005	Swell
4	4.019	0.00475	Notching
5	5.024	0.0048	Flicker
6	6.054	0.009	Spike
7	7.058	0.008286	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.009477

Tabel 17 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1]

0.2 detik 150 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.005	0.005	Harmonisa
2	2.006	0.003	Sag
3	2.995	0.001667	Swell
4	3.994	0.0015	Notching
5	4.988	0.0024	Flicker
6	5.995	0.000833	Spike
7	7.046	0.006571	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.002996

Hasil testing dengan menggunakan variasi epochs sinyal ditunjukkan pada Tabel 9 sampai dengan Tabel 17. Variasi epochs yaitu 50 epochs, 100 epochs, dan 150 epochs dengan jumlah neuron sama. Dari testing dengan menggunakan variasi epochs didapatkan error rata-rata trekecil terdapat pada Tabel 14 yaitu testing pada durasi sinyal 0.16 detik, dengan jumlah epochs sebesar 150 dan jumlah neuron [5 5 1] dengan error rata-rata 0.003268.

4.4.3 Hasil Testing Dengan Variasi Jumlah Neuron

Tabel 18 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1]

0.1 DETIK 50 EPOCHS [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.97	0.03	Harmonisa
2	2.025	0.0125	Sag
3	2.996	0.001333	Swell
4	4.04	0.01	Notching

Aktual	Forecast	Error	Keterangan
5	5.055	0.011	Flicker
6	6.051	0.0085	Spike
7	6.908	0.013143	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.012354

Tabel 19 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1]

0.1 DETIK 100 EPOCHS [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9	0.1	Harmonisa
2	1.904	0.048	Sag
3	3.071	0.023667	Swell
4	4.191	0.04775	Notching
5	5.001	0.0002	Flicker
6	6.026	0.004333	Spike
7	6.87	0.018571	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.034646

Tabel 20 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1]

0.1 DETIK 150 EPOCHS [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.006	0.006	Harmonisa
2	2.066	0.033	Sag
3	3.06	0.02	Swell

Aktual	Forecast	Error	Keterangan
4	3.873	0.03175	Notching
5	5.156	0.0312	Flicker
6	6.008	0.001333	Spike
7	7.258	0.036857	Sinusoida Murni
Error ata-rata			0.022877

Tabel 21 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 50 epochs, neuron [10 10 1]

0.1 DETIK 50 EPOCHS [10 10 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9225	0.0775	Harmonisa
2	1.972	0.014	Sag
3	3.025	0.008333333	Swell
4	4.101	0.02525	Notching
5	5.054	0.0108	Flicker
6	6.007	0.001166667	Spike
7	7.027	0.003857143	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.02013

Tabel 22 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 100 epochs, neuron [10 10 1]

0.1 DETIK 100 EPOCHS [10 10 1]			
Aktual	Forecast	ERROR	Keterangan
1	0.9947	0.00532824	Harmonisa
2	2.055	0.02676399	Sag
3	3.009	0.002991027	Swell
4	3.9	0.025641026	Notching

Aktual	Forecast	Error	Keterangan
5	5.075	0.014778325	Flicker
6	5.944	0.009421265	Spike
7	7.096	0.013528749	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.014065

Tabel 23 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.1 detik, 150 epochs, neuron [10 10 1]

0.1 DETIK 150 EPOCHS [10 10 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.97	0.03	Harmonisa
2	1.997	0.0015	Sag
3	2.975	0.008333333	Swell
4	3.867	0.03325	Notching
5	5.009	0.0018	Flicker
6	6.003	0.0005	Spike
7	6.976	0.003428571	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.011259

Tabel 24 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1]

0.16 detik 50 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.94	0.06	Harmonisa
2	2.026	0.013	Sag
3	2.907	0.031	Swell
4	3.865	0.03375	Notching
5	4.929	0.0142	Flicker

Aktual	Forecast	Error	Keterangan
6	6.015	0.0025	Spike
7	6.895	0.015	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.024207

Tabel 25 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1]

0.16 detik 100 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9439	0.0561	Harmonisa
2	2.009	0.0045	Sag
3	2.984	0.005333	Swell
4	4.069	0.01725	Notching
5	4.965	0.007	Flicker
6	5.994	0.001	Spike
7	6.974	0.003714	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.013557

Tabel 26 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1]

0.16 detik 150 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9979	0.0021	Harmonisa
2	2.014	0.007	Sag
3	2.991	0.003	Swell
4	3.999	0.00025	Notching
5	5.028	0.0056	Flicker

Aktual	Forecast	Error	Keterangan
6	6.009	0.0015	Spike
7	6.976	0.003429	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.003268

Tabel 27 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 50 epochs, neuron [10 10 1]

0.16 detik 50 epochs [10 10 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.045	0.045	Harmonisa
2	2.017	0.0085	Sag
3	2.964	0.012	Swell
4	4.18	0.045	Notching
5	5.065	0.013	Flicker
6	6.037	0.006167	Spike
7	7.034	0.004857	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.019218

Tabel 28 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 100 epochs, neuron [10 10 1]

0.16 detik 100 epochs [10 10 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.017	0.017	Harmonisa
2	1.967	0.0165	Sag
3	3.112	0.037333	Swell
4	3.978	0.0055	Notching
5	4.859	0.0282	Flicker

Aktual	Forecast	Error	Keterangan
6	5.906	0.015667	Spike
7	6.972	0.004	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.017743

Tabel 29 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.16 detik, 150 epochs, neuron [10 10 1]

0.16 detik 150 epochs [10 10 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9975	0.0025	Sag
2	1.966	0.017	Swell
3	3.096	0.032	Notching
4	3.819	0.04525	Flicker
5	4.979	0.0042	Spike
6	5.935	0.010833	Sinusoida Murni
7	6.961	0.005571	Harmonisa
Error rata-rata			0.016765

Tabel 30 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 50 epochs, neuron [5 5 1]

0.2 detik 50 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.052	0.052	Harmonisa
2	1.94	0.03	Sag
3	2.971	0.009667	Swell
4	4.124	0.031	Notching

Aktual	Forecast	Error	Keterangan
5	5.044	0.0088	Flicker
6	6.002	0.000333	Spike
7	6.97	0.004286	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.019441

Tabel 31 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 100 epochs, neuron [5 5 1]

0.2 detik 100 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.001	0.001	Harmonisa
2	2.067	0.0335	Sag
3	3.015	0.005	Swell
4	4.019	0.00475	Notching
5	5.024	0.0048	Flicker
6	6.054	0.009	Spike
7	7.058	0.008286	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.009477

Tabel 32 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 150 epochs, neuron [5 5 1]

0.2 detik 150 epochs [5 5 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	1.005	0.005	Harmonisa
2	2.006	0.003	Sag
3	2.995	0.001667	Swell
4	3.994	0.0015	Notching
5	4.988	0.0024	Flicker

Aktual	Forecast	Error	Keterangan
6	5.995	0.000833	Spike
7	7.046	0.006571	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.002996

Tabel 33 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 150 epochs, neuron [10 10 1]

0.2 detik 100 epochs [10 10 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9938	0.0062	Harmonisa
2	1.992	0.004	Sag
3	2.981	0.006333	Swell
4	3.983	0.00425	Notching
5	4.927	0.0146	Flicker
6	6.003	0.0005	Spike
7	7.06	0.008571	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.006351

Tabel 34 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 100 epochs, neuron [10 10 1]

0.2 detik 50 epochs [10 10 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9562	0.0438	Harmonisa
2	1.957	0.0215	Sag
3	3.018	0.006	Swell
4	4.088	0.022	Notching
5	4.963	0.0074	Flicker

Aktual	Forecast	Error	Keterangan
6	6.001	0.000167	Spike
7	7.034	0.004857	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.015103

Tabel 35 Hasil testing dari pelatihan data sinyal 0.2 detik, 150 epochs, neuron [10 10 1]

0.2 detik 150 epochs [10 10 1]			
Aktual	Forecast	Error	Keterangan
1	0.9817	0.0183	Harmonisa
2	1.981	0.0095	Sag
3	2.987	0.004333	Swell
4	3.973	0.00675	Notching
5	4.988	0.0024	Flicker
6	6.008	0.001333	Spike
7	7.007	0.001	Sinusoida Murni
Error rata-rata			0.006231

Hasil testing dengan variasi jumlah neuron ditunjukkan pada Tabel 18 sampai dengan Tabel 35. Variasi jumlah neuronnya yaitu [5 5 1] dan [10 10 1]. Dari semua hasil testing, error rata-rata terkecil ditunjukkan pada Tabel 32 dengan durasi sinyal 0.2 detik, jumlah epochs 150, jumlah neuron [5 5 1] dengan error rata-rata sebesar 0.002996

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukannya proses penilitan studi literatur, pengambilan data dengan melakukan simulasi dengan menggunakan MATLAB, dan melakukan pengolahan data, maka terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan:

1. S-Transform mampu mengekstraksi informasi atau fitur yang terkandung di dalam sinyal gangguan kualitas daya dan menyajikannya ke dalam bentuk *time-frequency* sehingga dapat diketahui frekuensi penyusun dari sinyal gangguan kualitas daya beserta waktu berlangsungnya gangguan tersebut.
2. Hasil S-transform dapat ditampilkan ke dalam bentuk grafis yang mudah dipahami dengan pengamatan visual.
3. Hasil pelatihan ANN menunjukkan bahwa semakin besar jumlah neuron yang digunakan dan jumlah iterasi dalam batas tertentu, error yang dihasilkan akan semakin kecil.
4. Metode pelatihan Levenberg-Marquardt yang digunakan pada penelitian ini menunjukkan performa yang baik dalam mencapai konvergensi.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan perbaikan penelitian ini adalah:

1. Simulasi dan analisis dengan menggunakan jenis gangguan kualitas daya yang lebih beragam.
2. Melakukan analisa dengan metode berbeda untuk didatakannya informasi kelebihan dan kekurangan metode masing-masing agar dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan metode pada penerapannya di lapangan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. K. Dash, K. Panigrahi, dan G. Panda, "Power Quality Analysis Using S-Transform," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 18, Apr 2003.
- [2] Yu, H. dan Wilamowski, B.M., "Advanced Learning Algorithms of Neural Networks," *Auburn Univ.*, 2011.
- [3] *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. IEEE Power & Energy Society.
- [4] Suriya Kaewarsa, "Classification of Power Quality Disturbance Using S-Transform Based Artificial Neural Networks," *IEEE*, 2009.
- [5] Puspitaningrum, *Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan*. Andi, 2006.
- [6] Siang, JJ, *Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrograman Menggunakan MATLAB*. Andi, 2004.
- [7] Aulia Khairunisa Berkah, "Pembelajaran Algoritma Levenberg Marquardt Pada Pendeteksian Kepribadian Berdasar Tulisan Tangan," *Univ. Komput. Indones. Bdg.*, 2015.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Rama Kurniawan Firdaus atau biasa dipanggil Rama lahir di Surabaya pada tanggal 16 Maret 1995. Penulis berpendidikan dasar, menengah, dan akhir di Kota Surabaya. Penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Teknik Elektro. Bidang studi yang penulis ambil yaitu Teknik Sistem

Tenaga. Penulis juga aktif dalam kegiatan UKM Fotografi ITS (UKAFO ITS) sebagai wakil ketua. Serta mengikuti kegiatan kepanitiaan yang diadakan bak jurusan dan institut. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: ramakfirdaus@gmail.com